

Université des Antilles et de la Guyane
Faculté de Sciences Exactes et Naturelles

École doctorale pluridisciplinaire :
Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques

Thèse pour le doctorat en Chimie

RINALDO Raphaëlle

**Certification, biocomplexité et valorisation des
Lauracées de Guyane française**

Sous la direction de Marc GIBERNAU

Soutenue le 12 Juin 2012 à Cayenne

NNT : 2012AGUY0516

Jury :

Philippe GERARDIN, Professeur, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériau Bois,
Université Henri POINCARÉ – Nancy I, Rapporteur

Roger HERNANDEZ, Professeur, Centre de Recherche sur le Bois, Département des sciences
du bois et de la forêt – Université Laval, Rapporteur

Marc GIBERNAU, Chargé de recherche, UMR ECOFOG–CNRS, Directeur de thèse,
Examineur

Jacques BEAUCHÊNE, Chargé de recherche, UMR ECOFOG–CIRAD, Examineur

Invitée : **Caroline SCOTTI-SAINTAGNE**, Chargée de recherche, UMR ECOFOG–INRA,
Examinatrice

A Lucien, merci d'avoir cru en moi



« Divan tanbou, galman pa la »

« C'est à l'œuvre que l'on reconnaît l'artisan »

AVANT-PROPOS

C'est avec émotion que j'écris ces quelques mots de remerciements en me rendant compte que finalement comme le dit le dolo¹ « tan fè tan, tan lessé tan² » et que, comme de nombreuses personnes me le disaient souvent « bod lanmè pa lwen³ ».

J'ai découvert notre forêt guyanaise grâce à Lucien, gérant de la société KLR, un visionnaire et amoureux de cette forêt guyanaise qu'il a cherché à valoriser par des ouvrages d'art en bois (ponts, constructions de digues, marinas), mais aussi en investissant dans la recherche et le développement en finançant des thèses et de nombreux projets. Merci Lucien, de m'avoir transmis ta passion et de m'avoir toujours fait confiance, tu m'as donné l'envie de me battre pour ce en quoi je crois. Puisses-tu être fier de moi, là ou tu es.

A Bernard THIBAUT et à Jacques BEAUCHENE, vous m'avez encouragée et soutenue dans les moments les plus éprouvants, même quand je n'avais plus confiance en moi.

A Marc GIBERNAU mon directeur de thèse, je te dois l'achèvement ma thèse. Merci de m'avoir encadrée comme tu l'as fait.

A Maman, Papa, Isaac, Israël, Nadège, Jaëlle et Noah vous m'avez apporté un soutien inestimable : la chaleur du foyer familial si important à mes yeux. Vous êtes mon tout.

Merci aussi à toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à l'achèvement de ma thèse, que ce soit en apportant leur soutien technique en m'aidant dans mes manips, en m'amenant en forêt ou en m'apportant leur inestimable soutien moral, un sourire, un café.

¹ Dolo : proverbe créole

² « L'eau a coulé sous les ponts »

³ « A force de courage et de persévérance on finit par atteindre son but »

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	7
LES LAURACEES DE GUYANE, UN POTENTIEL PEU EXPLOITE	15
<i>I. Introduction et contexte de l'étude</i>	<i>17</i>
<i>II. Etat de l'art sur la famille des Lauracées</i>	<i>19</i>
1. La famille des Lauracées	19
1.1. Classification	20
1.2. Botanique	24
1.3. Disponibilité, écologie et habitat.....	25
2. Usages traditionnels et valorisations industrielles des Lauracées	25
2.1. Usages traditionnels des Lauracées du plateau des Guyanes	25
2.2. Usages industriels.....	26
3. L'identification des Lauracées.....	31
3.1. Détermination taxinomique	31
3.2. Anatomie du bois, aide à l'identification et à classification	31
3.3. Marqueurs chimiotaxinomiques	34
3.4. Génétique, taxinomie et barcoding.....	36
4. Conclusion.....	38
PARTIE I. ANATOMIE DU BOIS	41
<i>I. Anatomie des Lauracées.....</i>	<i>43</i>
1. Rappels d'anatomie des bois	43
1.1. Mise en place du bois	44
1.2. Eléments constitutifs du bois	45
2. Les cellules à huile des Lauracées.....	51
2.1. Cellules à huile et à mucilage	51
2.2. Formation et structure	53
3. Anatomie des Lauracées	53
3.1. Genre <i>Aniba</i>	54
3.2. Genre <i>Endlicheria</i>	55
3.3. Genre <i>Licaria</i>	56
3.4. Genre <i>Mezilaurus</i>	57
3.5. Genre <i>Ocotea</i>	58
3.6. Genre <i>Rhodostemonodaphne</i>	59
3.7. Genre <i>Sextonia</i>	60
3.8. Cristaux et silice	61
3.9. Récapitulatif	63
<i>II. Matériels</i>	<i>64</i>
1. Prélèvements	64
2. Appareillage	64
3. Méthodologie	64
3.1. Observations macroscopiques	64
3.2. Observations microscopiques et mesures.....	65
3.3. Préparation de coupes minces	65
<i>III. Méthodes d'analyse</i>	<i>66</i>
1. Observations, tri des données	66
2. Analyses et outils statistiques.....	67
2.1. Analyse non-métrique multidimensionnelle (NMDS : Non – metric MultiDimensional Scaling).....	67

TABLE DES MATIERES

2.2.	Analyse en composantes principales (ACP)	70
2.3.	Analyse en permutations simples (SIMPER)	70
IV.	Résultats	71
1.	Description anatomique des bois	71
1.1.	<i>Aniba panurensis</i>	71
1.2.	<i>Aniba taubertiana</i>	72
1.3.	<i>Endlicheria bracteolata</i>	73
1.4.	<i>Licaria cannella</i>	74
1.5.	<i>Licaria martiniana</i>	75
1.6.	<i>Ocotea cinerea</i>	76
1.7.	<i>Ocotea guianensis</i>	76
1.8.	<i>Ocotea pauciflora cf.</i>	77
1.9.	<i>Ocotea percurrans</i>	78
1.10.	<i>Ocotea subterminalis</i>	79
1.11.	<i>Ocotea tomentella</i>	79
1.12.	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	80
2.	Traitement et tableaux des résultats	81
2.1.	Exploitation des données brutes	81
2.2.	Majoritaires vs. genres minoritaires	83
2.3.	<i>Aniba</i> , <i>Licaria</i> , <i>Ocotea</i> et minoritaires	87
2.4.	<i>Aniba</i> , <i>Licaria</i> et <i>Ocotea</i>	90
3.	Vers une nouvelle approche du traitement des données en anatomie	91
3.1.	Coefficient de souplesse	91
3.2.	Densité des cellules sécrétrices	93
3.3.	Ajout de nouvelles classes	93
3.4.	Tri des critères pertinents	94
4.	Conclusion	96
PARTIE II.	CHIMIE	123
I.	<i>Les composés organiques volatils (COV) émis par les arbres</i>	<i>125</i>
1.	Les terpénoïdes	125
2.	Les phénylpropanoïdes	128
3.	Autres composés	129
4.	Facteurs d'émission des COV	129
5.	Fonctions des COV	129
II.	<i>Systématique chimique et Lauracées</i>	<i>130</i>
1.	Diversité des molécules extraites des huiles de Lauracées	130
2.	Composition chimique des huiles extraites de Lauracées	131
2.1.	Genre <i>Aniba</i>	131
2.2.	Genre <i>Cinnamomum</i>	132
2.3.	Genre <i>Cryptocarya</i>	134
2.4.	Genre <i>Licaria</i>	135
2.5.	Genre <i>Ocotea</i>	135
2.6.	Genre <i>Persea</i>	136
2.7.	Genre <i>Rhodostemonodaphne</i>	137
2.8.	Composition Huile bois / Huile écorce	137
3.	Variabilité de la composition chimique et existence de chémotypes	138
3.1.	Chémotypes	138

TABLE DES MATIERES

3.2.	Influence de la saisonnalité	139
3.3.	Effet « station »	139
III.	<i>Matériels et prélèvement des COV</i>	141
1.	Protocole.....	141
1.1.	Lieux de prélèvements et échantillonnage.....	141
1.2.	Méthodes de prélèvements	142
2.	Distillations	143
2.1.	Préparation des échantillons.....	143
2.2.	Au laboratoire.....	144
2.3.	En quantités semi-industrielles	144
3.	Les analyses chimiques	144
3.1.	Principe.....	144
3.2.	La microextraction en phase solide	145
4.	Méthode d'analyse utilisée.....	148
4.1.	Protocole	148
4.2.	Injections	148
4.3.	Programmation de la GC/MS.....	149
IV.	<i>Traitement des données</i>	150
1.	Tableau « Toutes Lauracées ».....	150
1.1.	R.A.	151
1.2.	Indices de Kovats	151
2.	Analyses avec le logiciel PAST	151
2.1.	Données de type abondances	152
2.2.	Données de type classes.....	152
V.	<i>Résultats</i>	153
1.	Diversité des composés volatils	153
1.1.	Diversité quantitative	153
1.2.	Diversité qualitative.....	154
1.3.	Analyse statistique	156
2.	Choix des molécules « pertinentes ».....	157
2.1.	Traitement « brut » des données.....	157
2.2.	Approche par molécules caractéristiques	158
3.	Analyse des genres	159
4.	Etude intra-genre.....	161
4.1.	Le genre <i>Aniba</i>	161
4.2.	Le Genre <i>Licaria</i>	166
4.3.	Le Genre <i>Ocotea</i>	170
4.4.	Le Genre <i>Rhodostemonodaphne</i>	182
4.5.	Le Genre <i>Endlicheria</i>	186
4.6.	Le genre <i>Mezilaurus</i>	189
4.7.	Le genre <i>Sextonia</i>	191
4.8.	Conclusion	193
PARTIE III.	GENETIQUE	195
I.	<i>L'ADN chloroplastique (ADNcp)</i>	<i>197</i>
II.	<i>Matériel et méthodes</i>	<i>198</i>
1.	Matériel.....	198
2.	Méthodes d'analyse de génétique des populations.....	199

TABLE DES MATIERES

III. Résultats et analyses.....	200
1. Etude du polymorphisme génétique	200
2. Diversité génétique et différenciation génétique.....	201
2.1. Intergenres	201
2.2. Intragenres	205
3. Conclusion.....	216
3.1. Identification au genre	216
3.2. Identification à l'espèce	216
PARTIE IV. VALORISATION.....	219
I. Vers la création d'un outil d'identification multicritères	221
1. Xper ² , base de connaissance.....	221
1.1. Edition des descripteurs	222
1.2. Edition des taxa	223
1.3. Exploitation de la base	224
2. Identification des Lauracées	224
3. Perspectives	226
II. Huiles essentielles des Lauracées de Guyane	227
1. Rendements.....	227
1.1. Ecorces.....	227
1.2. Bois	228
2. Evaluations olfactives	228
3. Compositions et évaluations olfactives	229
III. Outil de certification, prédictions.....	231
1. Prédiction de la composition des huiles essentielles	231
1.1. Huile essentielle extraite du bois et huile essentielle extraite de l'écorce	232
1.2. Profil SPME et huile essentielle extraite du bois	233
1.3. Conclusion	235
2. Prédiction du rendement.....	235
IV. Conclusion	237
CONCLUSION - PERSPECTIVES	239
BIBLIOGRAPHIE	245
TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	255
ANNEXES	261
Annexe 1. Liste des Lauracées répertoriées en Guyane Française et leurs synonymes.....	263
Annexe 2. Liste des noms vernaculaires toutes ethnies confondues des Lauracées du plateau des Guyane selon Detienne et al. (1982), Detienne et Jacquet (1983) et De Fillips et al. (2004).....	269
Annexe 3. Prescriptions d'observation selon Normand (1972).....	272
Annexe 4. Correspondances classes/critères.....	273
Annexe 5. Tableau entier descriptif de l'anatomie des Lauracées	274
Annexe 6. Tableau des critères affinés	275
Annexe 7. Liste des échantillons récoltés pour les analyses des composés volatils des écorces	276
Annexe 8. Résultats des évaluations olfactives menées sur les huiles extraites	280
Annexe 9. Tableaux comparatifs des proportions des 10 à 15 composés majoritaires des huiles essentielles extraites du bois et de l'écorce	282

TABLE DES MATIERES

<i>Annexe 10. Tableaux comparatifs des proportions des 10 à 15 composés majoritaires de l'huile extraite du bois et du bouquet floral dégagé par l'écorce.....</i>	<i>286</i>
--	------------

LES LAURACEES DE GUYANE, UN POTENTIEL PEU EXPLOITE

I. Introduction et contexte de l'étude

La Guyane française est un vaste réservoir de biodiversité avec plus de 5300 espèces végétales forestières¹ dont plus de 1500 espèces ligneuses contre moins d'une centaine en France hexagonale². La diversité d'arbres à l'hectare y est d'environ 200 à 300 espèces contre au plus 28 espèces outre-Atlantique³. Cette forêt est très utilisée par les différentes ethnies composant la population guyanaise (amérindiens, noirs-marrons, créoles, brésiliens etc.). Elle est source de remèdes, d'arômes et de matériaux.

La diversité et l'abondance des forêts sont encore largement sous-exploitées industriellement en Guyane. En effet, les arbres sont seulement utilisés en menuiserie – ébénisterie ou en construction et ce n'est que depuis quelques années que la filière bois énergie se développe avec l'installation d'un industriel qui exploite les déchets de scierie pour la production d'énergie. La diversité de la forêt est encore mal exploitée car environ 70% de la production de bois se fait sur trois espèces : l'angélique (*Dicorynia guianensis*), le gonfalo (*Qualea rosea*) et le grignon franc (*Sextonia rubra*) ainsi que sur 60 autres espèces environ pour les 40% restants⁴. Or au Brésil, de nombreuses valorisations des produits forestiers non-ligneux sont en plein essor depuis de nombreuses années (Silva et al. 2009).

Dans le contexte économique guyanais, quelques entreprises tendent à valoriser les bioressources de façon innovante. C'est la démarche de l'entreprise KLR, exploitation forestière et entreprise de travaux publics dont le credo est la valorisation du bois guyanais à travers la construction mais aussi à travers l'élaboration de produits dérivés du bois, en particulier de ses extraits. Cette voie de valorisation a existé pendant de nombreuses années, au début du XX^e siècle avec l'exploitation intensive du bois de rose (*Aniba rosaeodora*) dont on pouvait extraire avec un bon rendement (de 0,5 à 1%), une huile essentielle de grande qualité presque exclusivement composée de linalol. L'huile essentielle de bois de rose de Guyane a été longtemps utilisée dans la formulation de divers parfums tels que le Chanel N°5 (1921), d'Aromatics Elixir de Clinique (1975), Ungaro III (1993), Sensi de Giorgio Armani (2002). Cette exploitation a duré 20 ans, jusqu'à épuisement quasi total des ressources naturelles en bois de rose et la mise en danger du renouvellement naturel de cette espèce. Depuis, des molécules de synthèse sont utilisées. Depuis 1997, son exploitation est interdite par la CITES et l'espèce est considérée en danger d'extinction. Le bois de rose appartient à la famille des Lauracées qui comprend environ 120 espèces répertoriées à l'Herbier de Guyane (CAY). Ces espèces pourtant courantes, sont très peu connues et exploitées en Guyane. Ce n'est pas le cas en Asie où les huiles essentielles extraites des feuilles ou de bois de Lauracées sont couramment utilisées dans l'industrie agroalimentaire et dans l'industrie pharmaceutique (Shylaja, Ravindran, and Babu

¹ Source : GIP ECOFOR, Rapport REGFOR 2011 par le Comité français de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (www.gip-ecofor.org)

² Source : Rapport du WWF, Mémento de la protection des forêts (www.wwf.fr)

³ Source : Institut National de l'Information Géographique et Forestière (<http://www.ifn.fr>)

⁴ Source : Présentation de la Mission Filière Bois de la CCIG « La filière bois et forêt en Guyane », Novembre 2009

2004). Les Lauracées sont intéressantes car ce sont des sources abondantes d'huiles essentielles chez la majorité des espèces et ce, dans toutes les parties de l'arbre (Watson and Dallwitz 1992).

Les Lauracées forment un groupe de grande importance économique au niveau mondial. En effet, de nombreuses espèces produisent des épices et des huiles utilisées depuis des millénaires (Richter and Werff 1996). Entre autres, *Persea americana* (avocatier) est utilisé pour ses fruits comestibles, *Cinnamomum zeylanicum* (cannelier) pour son écorce, *Laurus nobilis* (laurier) pour ses feuilles. Une huile camphrée est extraite du bois de *Cinnamomum camphora* (camphrier). Le benjoin (*Lindera benzoin*) et le bois de rose (*Aniba rosaeodora*) sont utilisés en aromathérapie et dans l'industrie cosmétique. Les bois jaunes de certaines espèces sont utilisés en menuiserie sur le continent sud-américain. Les genres les plus connus sont *Cinnamomum* (canneliers, camphriers), *Laurus* (lauriers), *Persea* (avocatiers) et *Sassafras* (Sassafras).

Etant données l'abondance et la diversité de cette famille en Guyane, l'entreprise KLR a souhaité impulser la création d'une filière de production durable d'huiles essentielles extraites de Lauracées qui seraient commercialisables et exploitables pour l'industrie cosmétique. Dans cette démarche de valorisation de la biodiversité, un partenariat entre KLR et l'équipe Matériaux et Molécules en Milieu Amazonien (3MA) de l'UMR EcoFoG avait déjà été établi afin d'apporter le soutien en recherche et en développement nécessaire à la réalisation de cette filière. Dans le cadre de ce partenariat, des extraits et huiles essentielles avaient été soumis à des parfumeurs qui se sont avérés intéressés par les fragrances proposées, en particulier celle de l'huile essentielle du bois d'un arbre appelé « cèdre cannelle ». Une campagne de récolte de « cèdres cannelle » pour fabriquer de l'huile essentielle a donc été effectuée en 2006. Lors de celle-ci, il s'est avéré que si les prospecteurs avaient effectivement récolté des « cèdres cannelle », ces derniers étaient tous différents et présentaient des huiles essentielles de composition différentes. Quelques recherches ont montré que cette famille était reconnue comme très difficile à identifier botaniquement et qu'il existait un seul spécialiste des Lauracées au niveau mondial.

Les Lauracées représentent près de 10% en terme de diversité de la ressource forestière ligneuse guyanaise et les huiles qu'on peut en extraire sont intéressantes de par les possibilités de valorisations multiples. Cette famille possède donc un grand intérêt. Cependant, les difficultés d'identification et l'absence d'une classification claire restent un obstacle à l'objectif de mise en place d'une chaîne de production d'extraits certifiés de Lauracées de Guyane. En effet, si l'entreprise veut assurer une production constante et durable d'extraits parfumés quels qu'ils soient, elle doit pouvoir certifier l'origine et l'appellation des arbres ainsi que la constance olfactive et chimique des extraits proposés sur le marché. Les objectifs de mon travail de thèse ici présenté sont de mettre en place une méthode d'identification rapide et non destructive de l'arbre ainsi que de faire un criblage des espèces potentiellement valorisables au sein de la famille des Lauracées.

La stratégie d'approche pour l'identification consiste à croiser plusieurs sciences afin d'obtenir une détermination taxinomique fiable. Pour cela, trois méthodes d'identification ont été croisées. La première est l'anatomie du bois. Il s'agit de récolter du bois de l'arbre et

d'examiner l'agencement des éléments et de tissus secondaires du bois à l'échelle macroscopique et microscopiques (Stern 1954). Il s'agit d'une méthode classique et assez ancienne. La deuxième méthode utilisée est la méthode de barcoding, technique qui consiste à attribuer une carte d'identité moléculaire de l'individu considéré (Kress et al. 2005). Dans l'idéal, une combinaison de plusieurs bases (haplotypes) d'une portion de l'ADN judicieusement choisie, devrait permettre d'identifier l'espèce ou le genre. Enfin, une étude ayant montré qu'il était possible de classer les espèces grâce à la composition du bouquet floral qu'elles dégagent (Courtois et al. 2009), nous avons essayé d'établir des cartes d'identité chimiques caractéristiques des espèces étudiées. L'hypothèse est qu'en combinant anatomie, chimie et génétique il serait possible d'obtenir une identification fiable à l'espèce de l'arbre sur pied à exploiter. Le potentiel d'extraction de quelques espèces a aussi été évalué ainsi que la possibilité, avec la méthode d'identification, de prédire la composition des huiles essentielles extraites des écorces et du bois.

La problématique étant posée, intéressons-nous à la famille des Lauracées et à son histoire ainsi qu'aux usages traditionnels et industriels des arbres de cette famille. Dans un second temps, nous allons évaluer l'apport de chaque méthode d'identification choisie à la détermination taxinomique à l'espèce des Lauracées.

II. Etat de l'art sur la famille des Lauracées

1. La famille des Lauracées

La famille des Lauracées est une famille de plantes angiospermes comprenant de 2500 à 3000 espèces distribuées de par le monde. Celles-ci sont réparties en 54 genres dans les zones tropicales et subtropicales comme indiqué sur la Figure 1. Cette famille est peu représentée en Afrique mais très fréquente sur le continent américain ou asiatique, en Australie et à Madagascar (Watson and Dallwitz 1992; Richter and Werff 1996; Mabberley 1997; Steven 2001).

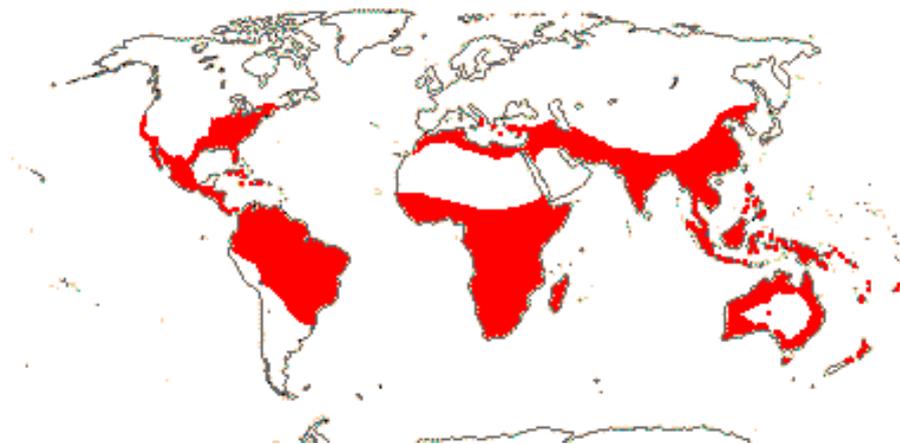


Figure 1: Distribution des Lauracées à travers le monde (Steven 2001)

Cette famille appartient à l'ordre des Laurales qui aurait divergé de l'ordre des Magnoliales il y a entre 198 et 128 millions d'années (Magallón and Castillo 2009). Les Lauracées seraient apparues entre 110 et 130 MA av. J.-C. et un seul ancêtre Laurasien serait à l'origine de toute la lignée des Lauracées d'Amérique. Le complexe *Ocotea* naît au Miocène entre -7 MA et -0,05 MA (Renner 2005).

En Guyane, 123 espèces sont recensées dans la base Aublet2 de l'Herbier de Guyane (Hoff et al. 2007) soit 10% des espèces ligneuses répertoriées en Guyane. Elles appartiennent aux 17 genres suivants : *Aiouea*, *Aniba*, *Beilschmiedia*, *Cassytha*, *Chlorocardium*, *Cinnamomum*, *Cryptocarya*, *Endlicheria*, *Kubitzkia*, *Laurus*, *Licaria*, *Mezilaurus*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Persea*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia*. Les genres les plus communs répertoriés sont : *Aniba* (11% des individus répertoriés), *Endlicheria* (11%), *Licaria* (12%), *Ocotea* (37%), *Rhodostemonodaphne* (7%) et *Sextonia* (7%). La liste des espèces répertoriées à l'Herbier de Cayenne figure en Annexe 1. Au cours de notre étude, nous nous sommes intéressés aux genres les plus abondants en Guyane: *Aniba*, *Endlicheria*, *Licaria*, *Mezilaurus*, *Ocotea*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia*.

1.1. Classification

Cette famille complexe a subi et subira encore très certainement, de très nombreuses révisions de par la difficulté d'établir des critères pour la classification. Par exemple, en 1993, le genre *Gamanthera* qui avait été isolé du genre *Licaria* deux années auparavant à cause des étamines fusionnées formant un synandrium¹ et de la nature monoïque² des échantillons (Werff and Endress 1991), est refusionné avec celui-ci car selon l'auteur, il s'agit uniquement d'exceptions du genre *Licaria* (Kostermans 1993). Les genres *Mezilaurus* et *Clinostemon* ont aussi été fusionnés en 1987 (Werff 1987). Les genres *Chlorocarodium* et *Paraia* ont été décrits pour la première fois en 1991 et ont permis de séparer des espèces précédemment classées dans le genre *Ocotea*.

La phylogénie³ des Lauracées n'est donc pas totalement élucidée. En effet, plusieurs classifications ont déjà été proposées mais aucune ne s'est avérée totalement satisfaisante. A ce jour, la classification faisant autorité est celle proposée par Richter illustrée Figure 2 (Richter 1981a). Elle est supportée par celles de Van der Werff et Richter effectuée sur la morphologie des inflorescences et le bois (Richter and Werff 1996). Cette dernière classification ne fait pas l'unanimité de la communauté scientifique car elle est basée sur la structure florale et l'anatomie du bois et de l'écorce. Cette classification divise les Lauracées en deux sous-familles, une comprenant le genre *Cassytha* (Cassythoideae) et l'autre (Lauroideae) comprenant les autres genres. Ce deuxième groupe est séparé en trois tribus : les Laureae, les Perseeae et les Cryptocaryeae.

¹ Synandrium : Groupe d'anthères fusionnées

² Monoïque : Se dit d'une plante qui possède des organes sexuels mâles et femelle sur un même pied

³ Phylogénie: Il s'agit d'un système de classification des êtres vivants qui permet de rendre compte des degrés de parenté entre les espèces et de comprendre leur histoire évolutive

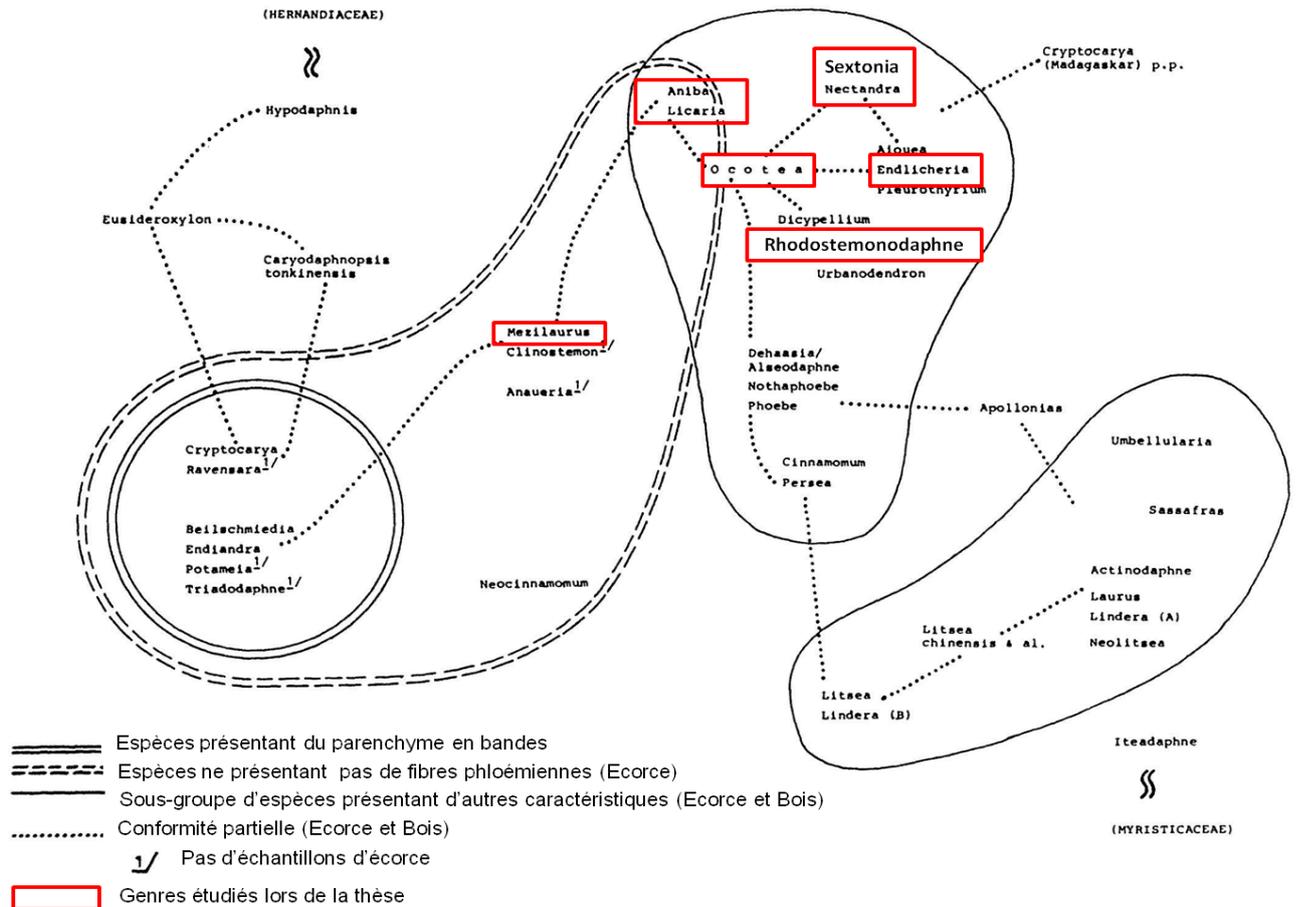


Figure 2: Classification des Lauracées à l'aide des caractéristiques anatomiques modifiée (Richter 1981a)

Notons que tous les genres étudiés par la suite se retrouvent dans le même groupe, à l'exception de *Mezilaurus*. Par la suite, nous verrons que ces espèces appartiennent au même clade des Persae-Laurae (Figure 4).

Une étude du gène chloroplastique *matK* (Rohwer 2000) a infirmé le regroupement de certaines tribus. C'est à ce jour la dernière étude sur la phylogénie des Lauracées (Figure 3). Il en est de même lors de l'établissement de l'arbre phylogénique de Lauracées obtenu par le séquençage du gène *trnH-psbA* (Figure 4). Cette étude est la dernière à ce jour (Chanderbali, Werff, and Renner 2001). Le groupe Cryptocaryeae est supporté par toutes les classifications : anatomique, botanique et moléculaire. Ce n'est pas le cas des tribus Laureae et Perseeae dont les classes mériteraient plus d'investigations. En effet, les classes obtenues ne découlent pas toujours des observations de caractères morphologiques communs et des proximités moléculaires ont été soulignées entre les espèces appartenant à ces tribus. Il en va de même pour les études embryologiques qui supportent la sous-famille des Cryptocaryeae (Kimoto, Utami, and Tobe 2006), ce qui n'est pas le cas pour les tribus des Laureae et des Perseeae (Heo, Werff, and Tobe 1998). Sur cet arbre, seuls les nœuds relatifs aux clades sont supportés avec une valeur de 100%.

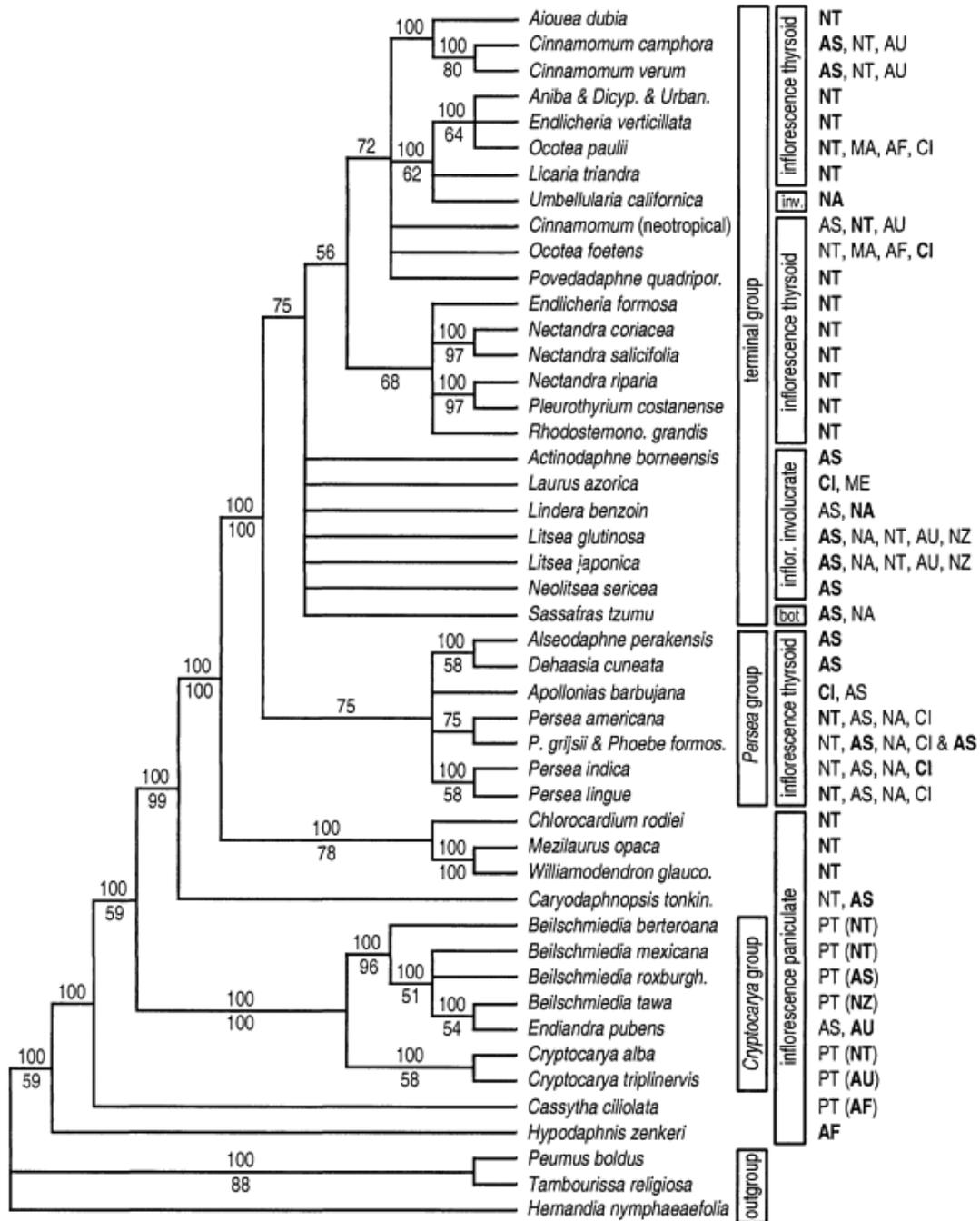


Figure 3: Arbre consensus du séquençage du gène *matK* (Rohwer 2000)

Le pourcentage maximal est situé en haut des branches. La valeur du bootstrap¹, en bas. Les abréviations en lettres capitales sur la droite indiquent le lieu de prélèvement.

¹ La méthode de bootstrap consiste à un rééchantillonnage aléatoire. Le nombre indiqué en bas des branches représente le nombre de fois sur cent que cette branche est apparue dans l'échantillonnage. Plus ce nombre est grand, plus on dit que la branche est soutenue.

LAURACEES DE GUYANE, UN POTENTIEL INEXPLOITE

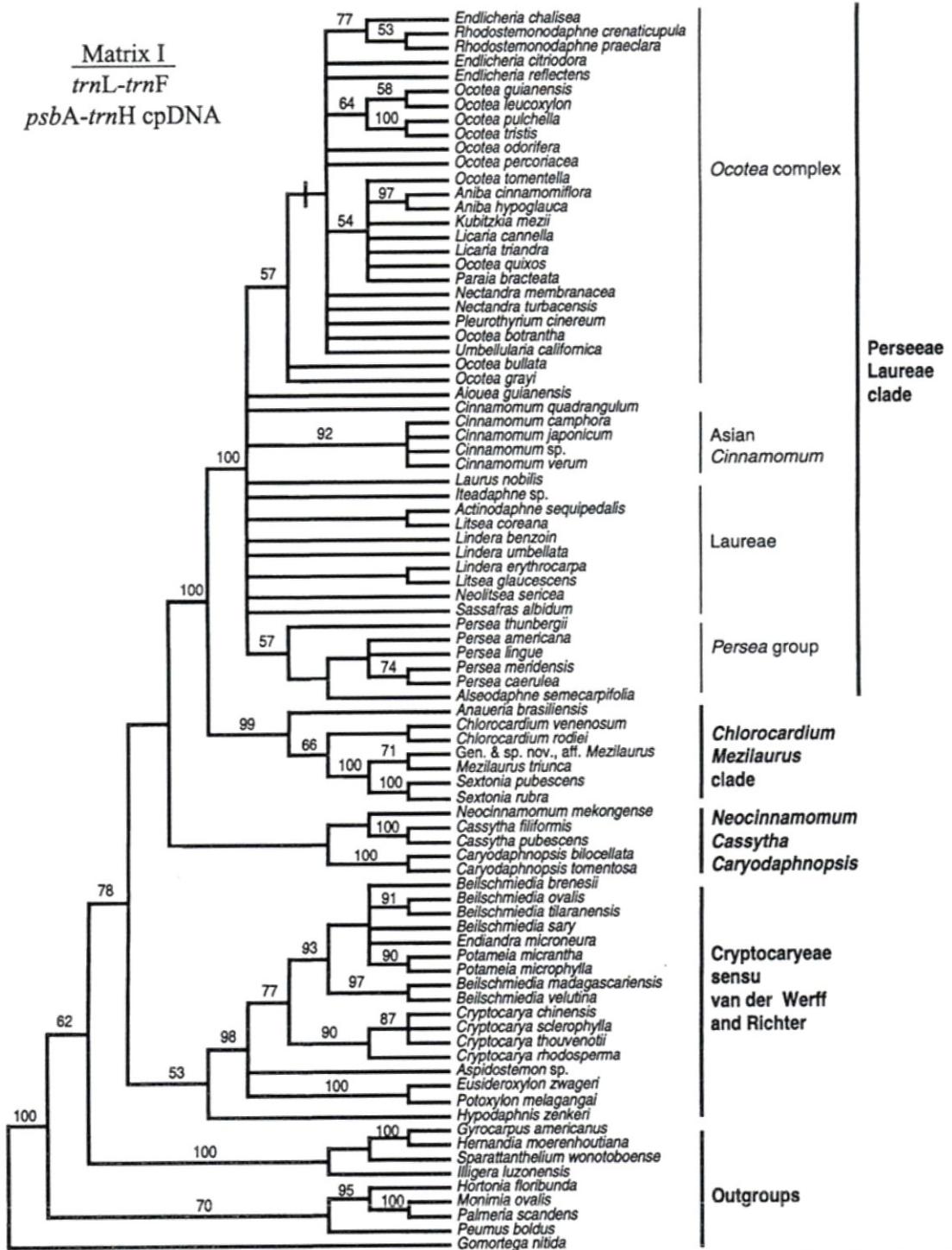


Figure 4: Arbre phylogénique des Lauracées obtenu par séquençage des gènes trnH-psbA (Chanderbali, Werff, and Renner 2001)

1.2. Botanique

De même que la classification est en remaniement constant, la famille des Lauracées a fait l'objet de nombreux travaux botaniques depuis les années 1880 jusqu'à nos jours, donnant ainsi naissance à de nouveaux genres tels les *Rhodostemonodaphne* (anc. *Systemonodaphne*), ou encore *Gamenthera* qui a été fusionné avec *Licaria* (Kostermans 1993). Les genres sont régulièrement mis à jour sur le site de l'APW (Angiosperm Phylogeny Website¹)

La famille des Lauracées est composée d'arbres et arbustes aromatiques à feuilles persistantes² pour la plupart des espèces. Cependant, le genre *Sassafras* présente des arbres à feuilles décidues³ et le genre *Cassytha* est composé par des plantes grimpantes hémiparasites⁴ (Steven 2001). Sur la Figure 5, un exemple de Lauracées guyanaises.

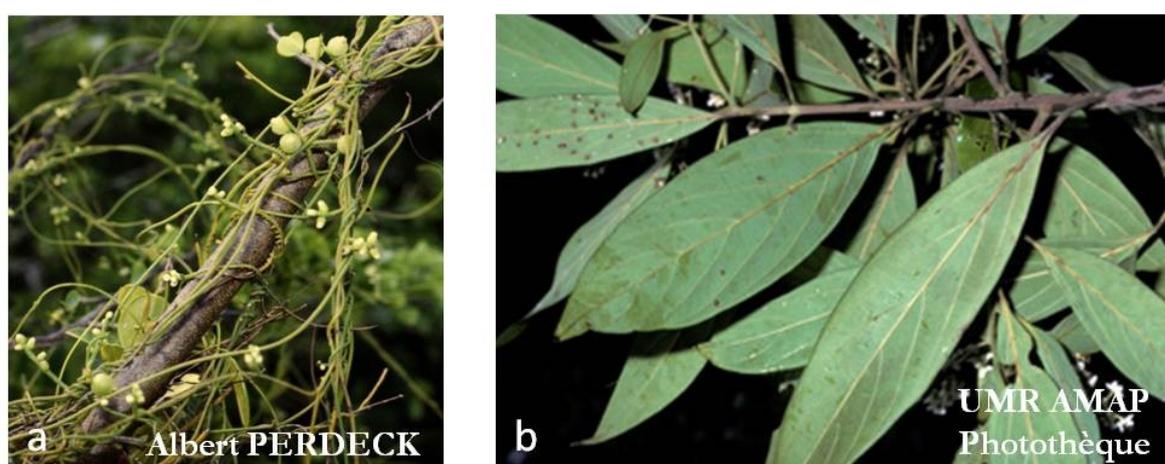


Figure 5: Lauracées: Cassytha filiformis (a⁵) et une espèce non identifiée de Guyane (b⁶)

Les arbres de cette famille sont reconnaissables à leurs feuilles simples, alternes, parfois opposées et montrent souvent trois nervures principales. Elles sont brillantes, épaisses, sans stipules et ne produisent pas de latex. Le pétiole est plus ou moins long (Grondin, Pibot, and Van Cawuwenberghe 1997). La partie inférieure du limbe présente peu de stomates. Dans certains cas des poils, majoritairement unicellulaires, à paroi épaisse sont observés. La face inférieure présente des domaties⁷ dans quatorze des genres. Le mésophylle de la feuille contient des cellules à huile ou des cellules à mucilage⁸. Ces dernières sont moins fréquentes (Watson and Dallwitz 1992).

¹ <http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/genera/lauraceaegen.html>

² Persistantes : Feuilles qui restent en place à chaque saison.

³ Décidues : Feuilles qui tombent à la mauvaise saison.

⁴ Hémiparasite : Plante sans racines poussant sur le tronc une autre plante sur laquelle elle puise les nutriments et l'eau nécessaires à sa croissance.

⁵ Source : Site de l'Herbier du département de botanique de la Texas A&M University (<http://botany.csd.tamu.edu>).

⁶ Source : Photothèque AMAP (<http://umramap.cirad.fr/amap1/phototheque/index.php> référence: dba05451).

⁷ Domaties : Protubérences ou dépressions à l'aisselle des nervures. Elles sont souvent pileuses.

⁸ Mucilage : Substance visqueuse.

Cependant, l'identification botanique des Lauracées est difficile. En effet, même les ethnies locales qui possèdent une grande connaissance de la forêt, ne font parfois pas la différence entre deux espèces. En **Annexe 2**, figure la liste des Lauracées de Guyane Française et de leurs noms vernaculaires (créoles, amérindiens ou bushi-nengué). On remarquera l'utilisation d'un même nom vernaculaire pour des espèces différentes. Par exemple *Nectandra globosa*, *Ocotea splendens* et *Rhodostemonodaphne grandis* sont appelés tous trois cèdre jaune ou gueli apici.

1.3. Disponibilité, écologie et habitat

A ce jour, il n'existe pas d'estimation de la ressource en Lauracées car cette famille est très mal répertoriée. Lors des inventaires effectués par l'ONF¹ en vue d'exploitation forestière, seuls les arbres commercialisables sont répertoriés. C'est pourquoi, hormis les données de l'Herbier de Cayenne (CAY), nous ne possédons aucune donnée sur la répartition des Lauracées de Guyane. Cependant, les forestiers s'accordent sur la grande abondance de Lauracées dans certaines parties de la Guyane, notamment dans l'Est. De plus, les Lauracées sont souvent trouvées au sein de peuplements de la même famille. En terme de diversité, les Lauracées représentent 116 espèces sur 1500 espèces à ce jour répertoriées en Guyane.

Environ 80% des Lauracées répertoriées à l'Herbier de Guyane (CAY) proviennent des habitats suivants : forêts denses et hautes de terre ferme de basse altitude, forêts denses sempervirentes humides de basse altitude inférieures à 500 m, forêts inondables, forêts sur flats, forêts ripicoles, forêts basses sur cuirasses latéritiques de basse altitude. On peut aussi les rencontrer sur des sols sableux, dans des zones bien drainées.

Quelques espèces sont toutefois retrouvées sur des substrats particuliers. *Endlicheria pyriformis*, est rencontrée sur des substrats particuliers : des schistes, quartzites et sur des crêtes. *Endlicheria reflectens* est aussi répertorié en milieu anthropisé (rudéral). L'espèce *Mezilaurus itauba*, seule espèce du genre répertoriée, est retrouvée uniquement en bord de crique dans des sous-bois de forêt dense de basse altitude. *Ocotea glomerata* est une espèce de bords de pistes forestières ou de friche. *Ocotea guianensis*, espèce utilisée traditionnellement est surtout présente dans les jardins et zones rudérales.

2. Usages traditionnels et valorisations industrielles des Lauracées

2.1. Usages traditionnels des Lauracées du plateau des Guyanes

Dans un ouvrage électronique (DeFilipps, Maina, and Crepin 2004), les usages médicaux de quelques Lauracées du plateau des Guyanes sont décrits. La décoction des feuilles d'*Aniba sp.* est bue comme un tonique, ou utilisée comme purge, tout dépend de l'espèce. Les branches et écorces sont broyées puis infusées afin d'obtenir une décoction soulageant les pieds gonflés et les démangeaisons. *A. camelilla*, est une source d'alcaloïdes. Les

¹ O.N.F. : Office national des Forêts

populations Tacana de la région amazonienne utilisent des décoctions de cette espèce pour soulager les maux de ventre et les crampes d'estomac sans diarrhées (Silva et al. 2009). Une décoction d'écorce est utilisée pour soigner la dysenterie, les fièvres et la diarrhée, ainsi qu'une décoction ou une macération dans le Vermouth des feuilles d'*A. hostmanniana*. La décoction de bois, d'écorces et de graines de *Chlorocardium rodiaei* est utilisée comme fébrifuge et anti-diarrhéique. De plus, elles sont utilisées par les Amérindiens et les Marrons du Guyana contre le paludisme et la dysenterie car elles sont sources de quinine. L'infusion de *Cinnamomum zeylanicum* est utilisée pour aider à l'accouchement, et pour traiter les toux comme ailleurs dans le monde, de même que *Cinnamomum verum* en Inde, les huiles de *Cinnamomum verum* et *C. camphora* sont utilisées aussi pour calmer les crises d'épilepsie, d'hystérie, les convulsions et comme aphrodisiaque (Farooqi 2008).

La liqueur d'écorce de *Dicypellium caryophyllaceum* et de *Licaria cannella* est stimulante et aphrodisiaque (Grenand et al. 2004).

En Guyane, *Ocotea guianensis* (cèdre argent) est traditionnellement utilisé chez les populations noires-marrons et amérindiennes pour soulager les douleurs de l'enfantement en bain de siège. *O. cymbarum* est utilisé surtout au Brésil pour son exsudat qui sert de substitut au pétrole. Les Palikurs connaissent les fruits de cet arbre pour leurs propriétés enivrantes. L'écorce est desséchée et sert comme calmant lors des états de stress, de nervosité, en particulier après les fièvres dues au paludisme (Grenand et al. 2004). Une espèce, plus rare, *Kubitzkia mezii* est utilisée par les Wayãpi de Camopi sous forme de décoction comme vermifuge (Grenand et al. 2004). De même, plusieurs espèces de Lauracées appartenant aux genres *Aniba*, *Ocotea*, *Licaria* et *Dicypellium* ont souvent été utilisées comme substitut de la cannelle en raison de leur odeur sous l'appellation de fausse cannelle (Grenand et al. 2004).

2.2. Usages industriels

2.2.a. Menuiserie

Hormis le grignon (*Sextonia rubra*), les arbres de cette famille sont relativement peu exploités en Guyane si ce n'est pour faire du bois de coffrage comme dans le cas des cèdres blancs (ex. *Aniba citrifolia*, *Rhodostemonodaphne elephantopus*). Certaines ethnies noires-marrons utilisent certains bois de Lauracées en menuiserie. Ils les appellent cèdres jaunes, bamba apici ou gueli apici.

Les bois de *Mezilaurus* sont utilisés au Brésil en menuiserie et en charpente. En effet, en Amérique du Sud, ces bois durs sont très connus. Ils sont aussi utilisés dans la construction de bateaux (Werff 1987).

Le bois d'*Ocotea bullata* maintenant protégé est connu pour sa grande qualité en déroulage. Il a longtemps servi à faire du placage à destination de l'industrie du contreplaqué et de la menuiserie de luxe. De même, *Ocotea foetens*, *O. bullata* et *O. umsambarensis* sont utilisés pour la menuiserie (Kostermans 1938).

2.2.b. Industrie cosmétique, aromathérapie, agro-alimentaire et pharmaceutique

L'exploitation d'*Aniba rosaeodora* dans les années 1920 a permis qu'une véritable industrie du bois de rose s'installe en Guyane. Ce bois a été découvert en 1825 dans l'état de Parà, au Brésil. Une étude a montré son extrême richesse en linalol, molécule précurseur de l'acétate de linalyle qui a l'odeur de lavande. Dans le commerce, deux bois de rose sont distingués, un bois de rose « mâle » et un bois de rose « femelle ». C'est ce dernier qui est source d'huile essentielle (Bruleaux 1990). De même, *Aniba parviflora*, est utilisé comme le bois de rose sans distinction avec *Aniba rosaeodora* (Grenand et al. 2004). Depuis, aucune Lauracée n'est utilisée de façon industrielle. Il n'existe plus, en Guyane, d'exemple d'utilisation de Lauracées dans ces domaines. L'exploitation du genre *Aniba* dans le domaine de l'industrie de la parfumerie dure depuis plus d'un siècle maintenant (Gottlieb 1972). Au Brésil, les Lauracées sont exploitées pour leurs huiles essentielles très odorantes. Notamment, les espèces des genres *Aniba*, *Licaria*, *Nectandra* et *Ocotea* sont très valorisées pour leur bois aromatique dans l'industrie pharmaceutique et dans le secteur agro-alimentaire (Empereira 1996).

Laurus nobilis, le laurier, bien connu pour ses qualités gustatives est connu depuis de nombreux siècles avant J.-C. L'huile d'avocat (*Persea* sp.) est très utilisée en cosmétique pour sa richesse en vitamine E et en vitamine A mais aussi pour d'autres propriétés telles que l'augmentation de l'élasticité de la peau, l'amélioration du teint du visage ou encore son pouvoir nourrissant pour les cheveux. Elle rentre dans de nombreuses préparations cosmétiques notamment celle de masques capillaires (Bruneton 1999; Frizzo et al. 2000; Athar and Nasir 2005; Andrianoelisoa et al. 2006; Barceloux 2008).

En aromathérapie, les espèces les plus exploitées industriellement appartiennent au genre *Cinnamomum* et proviennent majoritairement du continent asiatique. En Asie, le marché du camphre a une importance historique (Günter 1950). Certaines espèces de *Cinnamomum* sont utilisées dans la production de Sassafras de Chine (*C. porrectum*, *C. rigidissimum*) car elles sont sources de safrole, ce qui concurrence la production brésilienne (Bruneton 1999). *Cinnamomum cassia* entre dans la composition de nombreux encens asiatiques (Lin, Krishnaswamy, and Chi 2008). Les feuilles et les écorces de *Cinnamomum verum* sont commercialisées aux îles Fidji à des fins cosmétiques et d'aromathérapie (Patel et al. 2007). Les espèces indiennes du genre *Litsea* sont utilisées comme substitut à l'encens car elles sont productrices de gomme-résine. De même, *Nectandra eleiophora* présente un exsudat huileux couramment utilisé en Inde (Farooqi 2008). Certaines espèces du genre *Lindera* (benjoin) sont également utilisées en aromathérapie (Watson and Dallwitz 1992).

En Europe, *Cinnamomum verum* (cannelle vraie) est exploitée dans l'industrie agro-alimentaire, tout comme en Inde (Patel et al. 2007). Dans ces industries, l'huile de l'écorce de cannelier est utilisée principalement comme arôme dans les chewing-gums, les dentifrices ou les préparations pharmaceutiques. Les huiles essentielles de feuilles et d'écorce de *Cinnamomum verum* et *C. cassia* sont les sources principales de cinnamaldéhyde, molécule responsable de l'odeur de cannelle. L'huile de *C. cassia* rentre dans la composition du Baume du Tigre, de

boissons au cola, de liqueurs et de sauces (Senanayake and Wijesekera 2004; Shylaja, Ravindran, and Babu 2004; Vijayan and Thampuran 2004; Morais et al. 1972; Madan and Kannan 2004; Barceloux 2008).

L'usage de certaines espèces de Lauracées a parfois été breveté. Par exemple, l'usage de la fraction aqueuse d'un extrait hexanique de fruits de *C. zeylanicum* a été breveté pour la conservation des aliments grâce à sa forte activité anti-oxydante (Jayaprakasha and Rao 2004). L'usage de dérivés de la molécule de cinnamaldéhyde dans des produits désodorisants a été breveté par Fadel et al. en 2009 mais a aussi été breveté dans la composition d'une pâte à blanchir les dents (Gebreselassie and Boghani 2006). De façon plus anecdotique, l'usage d'une fibre soluble contenue chez les Lauracées a été breveté. Cette fibre a un effet thérapeutique contre la maladie de Crohn, ou maladie du côlon irritable (Rhodes, 2004).

L'élémicine, précurseur de la synthèse du triméthoxyprème, ingrédient entrant dans la composition d'un médicament antibactérien, le Septran[®], est contenue en de fortes proportions (92%) dans l'huile de feuilles de *Cinnamomum glaucescens* (Baruah and Nath 2006).

2.2.c. Activités biologiques

Les composés flavonoïdes et les éthers de méthyle extraits d'*Aniba* (en particulier *A. riparia*) possèdent une activité anti-anxiolytique et antispasmodique (Thomas et al. 1994; Deharo et al. 2001; Sousa et al. 2004; Florenço De Sousa et al. 2005; Araújo et al. 2009).

L'huile de l'écorce d'*Aniba canelilla* a montré une activité cardiovasculaire chez les rats (Lahlou et al. 2005) et les huiles des feuilles, des fruits, des branches et des racines d'*Ocotea duckei* ont montré une action d'hypotension sur des rats (Barbosa-Filho et al. 2008).

L'extrait brut de feuilles de *Licaria rigida* (ex. *Nectandra rigida*) a démontré une forte activité in-vitro contre des cellules cancéreuses tout comme l'extrait éthanolique d'écorce de *Licaria cannella* (Le Quesne, Larrahondo, and Raffauf 1980; Suffredini et al. 2007).

Des études ont mis en évidence les propriétés antiparasitaires de certaines Lauracées. L'extrait éthanolique d'écorce de *Licaria cannella* a montré une activité in vitro contre *Plasmodium falciparum*, responsable du paludisme (Deharo et al. 2001). Les extraits bruts d'écorce d'*Aniba canelilla* montrent une activité contre des leishmanies et *Trypanosoma cruzii* (Fournet, Barrios, and Muñoz 1994). De plus les huiles des feuilles de *C. rhyncophyllum*, *C. microphyllum*, *C. pubescens*, *C. mollissimum*, et *C. impressicostatum* ont montré une activité significative sur les larves d'*Aedes aegypti* et d'*Aedes albopictus*, deux moustiques vecteurs de la dengue (Jantan et al. 2005).

Les huiles extraites des feuilles de *Licaria cannella* et d'*Aniba canelilla* présentent une activité similaire à celle du médicament de référence contre des promastigotes de *Leishmania amazonensis*. De plus, ces huiles sont moins cytotoxiques que les médicaments usuels, la plus performante étant celle de *Licaria cannella*. (Silva et al. 2009).

Les huiles de feuilles, d'écorces et de branches de *Cinnamomum cordatum*, *C. impressum*, *C. pubescens* et *C. zeylanicum* montrent une grande activité antifongique (Jantan et al. 2008). L'huile de feuilles d'*Ocotea praetermissa* présente une activité antibactérienne (Agius et al. 2007). Les huiles extraites des feuilles de *Beilschmiedia brenesii*, *Cinnamomum paratriplinerve* et *O. endresiana* sont actives contre des petits crustacés (*Artemia salina*) et celle de *O. endresiana* présente une cytotoxicité significative sur des cellules de type MCF-7¹.

C. paratriplinerve, *C. tonduzii* et *O. endresiana* sont inhibiteurs de cruzain une enzyme protéolytique impliquée dans la maladie de Chaggas. Le (E)-nérolidol contenu dans plusieurs huiles essentielles a été jugé comme possédant un intérêt industriel en Inde (Baruah and Nath 2006). De plus, l'activité de l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* a été démontrée contre des bactéries nosocomiales telles que les *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus* dans le cadre d'une méthode naturelle d'assainissement de l'air en milieu hospitalier (Billerbeck 2008).

2.2.d. Rendements

Hormis les nombreuses voies de valorisation possibles des Lauracées, l'intérêt des Lauracées réside aussi dans les rendements importants en huiles essentielles. La plupart des données concernent des huiles extraites à partir des feuilles et il existe peu d'études sur les huiles extraites du bois.

Au vu du peu d'études existant sur les huiles des bois de Lauracées, une comparaison des huiles essentielles basée sur les genres n'est pas pertinente. Notons cependant que les études sur les huiles extraites des bois de *Cinnamomum* montrent les rendements les plus importants de 2,40% pour *C. impressicostatum* et de 1,90% pour *C. pubescens* (Jantan et al. 2008). Ensuite, on observe un rendement de 1,30% chez *A. hostmanianna* (Morais et al. 1972) et de 1,20% chez *Cryptocarya massey* (Rali, Wossa, and Leach 2007). Le reste des résultats, oscille entre 0,02% chez *Ocotea brenesii* (Chaverri and Cicció 2005) et 0,70% chez *Aniba canelilla* (Maia et al. 2001).

Le récapitulatif des rendements obtenus dans la littérature en fonction des genres est présenté Figure 6. En rouge, figure le seuil d'intérêt défini par l'entreprise KLR pour l'exploitation des arbres producteurs d'huile essentielle (0,3%).

¹ MCF-7 : Lignée de cellules tumorales mammaires les plus utilisées dans la recherche d'actifs anti-tumoraux (MCF-7 est l'acronyme de Michigan Cancer Foundation – 7).

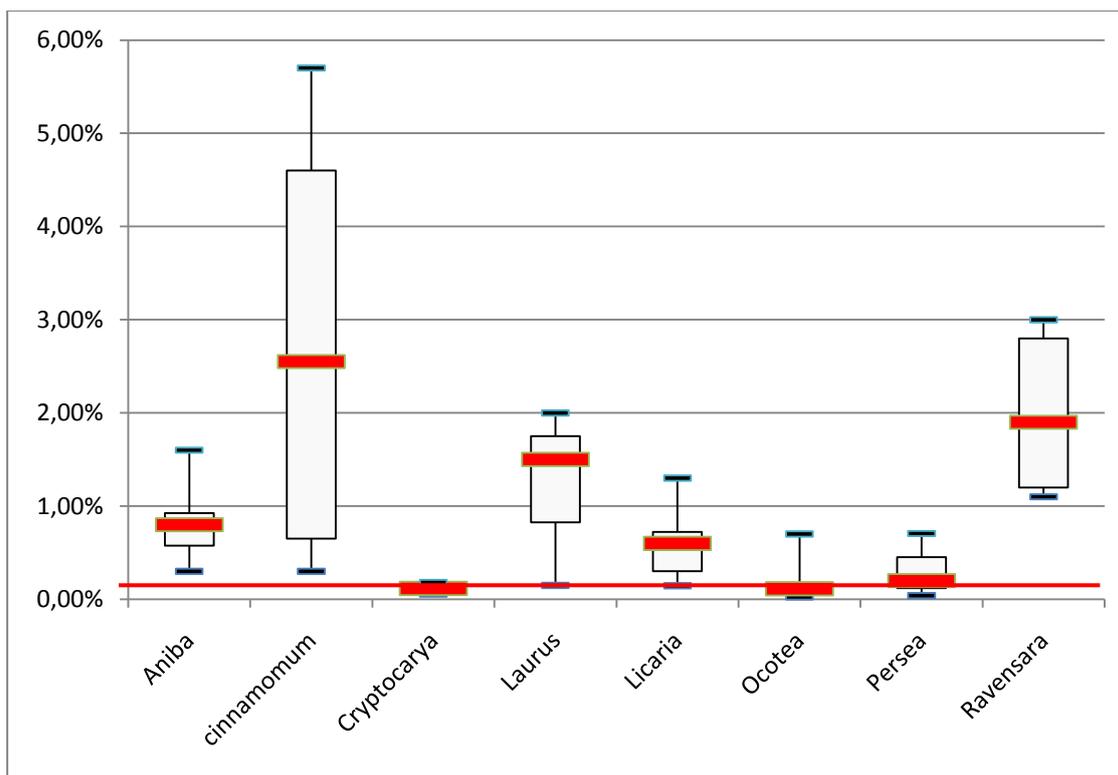


Figure 6: Synthèse des rendements en huile essentielle extraite de feuilles

Les genres présentant les plus grands rendements sont *Cinnamomum*, *Ravensara* et *Laurus*. Deux genres présentent des rendements moyens : *Aniba* et *Licaria*. Enfin, trois genres ne produisent pas d'huile essentielle dans leurs feuilles : *Cryptocarya*, *Ocotea* et *Persea*. L'huile extraite des feuilles de *Rhodostemonodaphne kunthiana* présente un rendement de 0,37% (Palazzo et al. 2009).

D'un point de vue de l'exploitation, 4 genres sont donc intéressants : *Aniba*, *Cinnamomum*, *Laurus* et *Ravensara*. Il est à noter que les rendements au sein du genre *Cinnamomum* sont très disparates. Cela est dû à des variations interspécifiques mais aussi interindividuelles dans les teneurs en huile essentielle des feuilles (Nath, Pathak, and Baruah 1996; Jantan et al. 2008; Telascra et al. 2008). De plus, les études sur ce genre sont plus nombreuses étant donné son intérêt industriel. De nombreuses filières d'exploitation des dérivés de cette famille existent en Asie. Il est donc nécessaire, dans la démarche de valorisation de nos bioressources, de chercher à faire de même en Guyane. De plus, les extraits de Lauracées sont fortement étudiés pour leurs activités biologiques, ce qui amène à considérer d'autres perspectives que les voies d'exploitation classiques. Les exemples divers de l'exploitation des Lauracées permettent de comprendre l'importance cruciale d'une identification fiable de celles-ci, afin de pouvoir certifier une fragrance ou la composition des huiles essentielles.

3. L'identification des Lauracées

Plusieurs outils existent déjà pour la détermination taxinomique des plantes. Voyons leurs avantages, leurs faiblesses et leur apport pour l'identification.

3.1. Détermination taxinomique

Plusieurs ouvrages de référence d'identification botanique existent notamment, Flora Neotropica, Flora of the Venezuelan Guayana, ou la Flore de Saül. Cependant, peu d'entre eux proposent des identifications à partir de rameaux stériles. Généralement, les feuilles sont un des éléments d'identification quand elles possèdent des caractéristiques très particulières par exemple, la face inférieure rousse très tomenteuse d'*Ocotea tomentella* ou encore la rainure particulière sur la face inférieure du limbe des feuilles d'*Ocotea guianensis*. L'identification botanique des Lauracées est ardue de l'avis de plusieurs spécialistes, même avec un spécimen fertile. Ceci est entre autre dû aux fleurs très petites, difficiles à localiser et à collecter (Richter and Werff 1996).

De plus, les déterminations du genre restent complexes car personne ne peut dire quels sont les caractères les plus discriminants et les plus robustes dans la détermination botanique. En effet, la plante est un matériel vivant dont l'état dépend du stade phénologique (floraison, âge de la plante etc.). Il est évident que sauf exception, c'est un ensemble de caractères qui définit un genre ou une espèce. Il faut donc faire attention au poids attribué aux caractéristiques étudiées (Rohwer, Richter, and Werff 1991). En 2009, une méthode d'identification par empreinte des feuilles s'est montrée efficace dans l'identification de certaines Lauracées du Brésil en combinaison avec d'autres caractères. Il s'agit de mesurer la densité des stomates lorsqu'ils sont visibles, la forme des cellules de gardes, la présence de domaties, de poils et autres caractères, et d'établir l'empreinte de la feuille (Ceolin, Rosito, and Canto-Dorow 2009).

Lorsqu'il s'agit de déterminations de noms scientifiques, il est impossible de faire appel aux savoirs traditionnels des populations amérindiennes ou noires-marrons qui possèdent un très grand savoir de la forêt. En effet, ils n'utilisent que des déterminations vernaculaires qui sont souvent en relation avec les usages qu'ils font des plantes. Ainsi, *Licaria cannella*, et *Aniba canelilla* sont toutes deux appelées au Brésil « louro-pirarucu » sûrement en raison de leur odeur qui est presque similaire (Silva et al. 2009). Même s'ils ne se trompent jamais sur la famille, la détermination même au genre, n'est parfois pas possible par les populations autochtones.

3.2. Anatomie du bois, aide à l'identification et à classification

3.2.a. Caractéristiques macroscopiques

Rollet propose des critères d'identifications facilement observables sur le terrain (Rollet 1980; Rollet 1982). Il est particulièrement intéressant, chez les Lauracées, de noter les différentes odeurs des écorces par exemple, les odeurs de cannelle (nombreux arbres du genre

Cinnamomum), de camphre (*C. camphora*, *C. Oliveiri*) ou de Wintergreen¹ (*Cryptocarya Wightiana*, *Neolitsea involucrata*). Notons que sur le terrain les individus appartenant au genre *Aniba* présentent une odeur typique de linalol de Lauracée. Il propose également de prêter attention aux critères suivants : la saveur de l'écorce, les textures de l'écorce interne et l'écorce externe, le bruit de l'écorce à la section. Certaines Lauracées peuvent se différencier à l'odeur mais cela reste pour l'odorat humain relativement limité. En effet, parfois une même odeur peut être causée par des molécules différentes. C'est le cas d'*Ocotea quixos*, *Aniba canelilla* et *Ocotea pretiosa* qui ont tous trois une odeur de cannelle qui, chez la première espèce, est due à la présence de cinnamaldéhyde et chez les deux dernières à la présence de 1-nitro-2-phényléthane (Lima et al. 2009).

En raison de ces difficultés d'identification sur le terrain, Rollet affine les critères d'observation sur le terrain de l'écorce de 550 espèces des Antilles, du Venezuela, du Brésil, du Nigéria et de quelques pays d'Asie (Rollet 1980; Rollet 1982).

De plus, observer la structure macroscopique des rayons phloémiens² ainsi que la disposition des cellules pierreuses³ peut s'avérer pertinent (Figure 7, Figure 8).

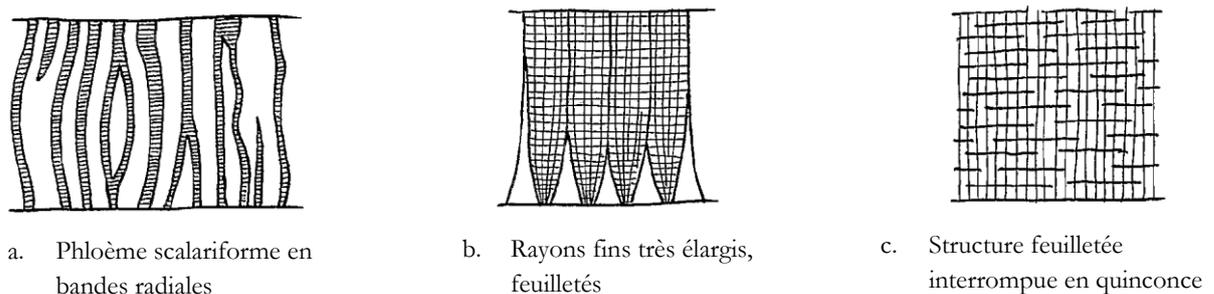


Figure 7: Dispositions des rayons phloémiens en section transversale (Rollet 1982)

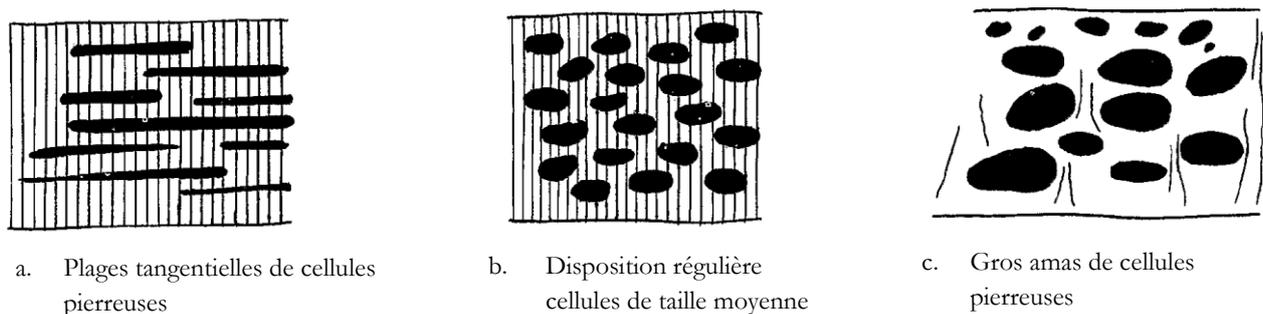


Figure 8: Dispositions des cellules pierreuses en section transversale (Rollet 1982)

Il existe diverses études sur l'anatomie des écorces de Lauracées qui sont effectuées au moyen de microscopes, mais elles n'apportent pas nécessairement d'aide immédiate sur le terrain à la détermination botanique (Roth 1981).

¹ A l'origine, l'essence de Wintergreen provient de la distillation des feuilles de *Gaultheria procumbens*. Elle contient principalement du salicylate de méthyle.

² Phloème: Tissu conducteur de sève élaborée (=liber)

³ Cellules pierreuses : Cellules à paroi épaisse et très dure

3.2.b. Caractéristiques microscopiques

Richter, Stern et Van der Werff, ont démontré la place essentielle de l'anatomie du bois et des écorces dans la classification et la détermination des genres (Stern 1954; Richter 1981a; Richter and Werff 1996) lorsque la phyllotaxie n'apportait aucune réponse. Des études sur le bois d'*Apollonias* ont confirmé l'appartenance au groupe phylogénique *Perseae* grâce à ses ponctuations scalariformes, identiques aux genres *Persea* et *Phoebe*. C'est pourquoi l'apport de cette méthode d'identification doit être pris en compte.

i. Bois

Une synthèse sur l'anatomie des bois néotropicaux a été effectuée à l'aide de plusieurs ouvrages ((Stern 1954; Richter 1981b; Détienné and Jacquet 1983; Richter 1985; Détienné 1988a; Callado and Costa 1997; Alves and Angyalossy-Alfonso 2000; Miller and Détienné 2001; Alves and Angyalossy-Alfonso 2002; Gao et al. 2009; Loutfy 2009)). Celle-ci sera détaillée dans la partie Anatomie du manuscrit.

L'anatomie des *Aniba* est proche de celle des *Licaria* et de celle de quelques *Ocotea*. La plus grande différence avec ces deux derniers est la présence de cristaux parallélepédiques, l'uniformité de la densité ainsi que les parois épaisses des fibres et des vaisseaux, les fins rayons ligneux et les fibres très peu septées. La différence avec *Aiouea* et *Endlicheria* est la densité plus petite de ces deux genres. Généralement, les bois de ces arbres sont aromatiques. Structurellement, les vaisseaux présentent des plus petits diamètres, une paroi plus fine, les rayons ligneux sont plus fréquemment trisériés et les fibres sont sporadiquement septées. Chez les *Endlicheria*, on observe des cellules à mucilage, les bois verts sont gluants à la coupe. De plus, dans les deux genres, quand il y a présence de cristaux ils sont fusiformes. Les vaisseaux d'*Aiouea* et d'*Endlicheria* présentent des ponctuations scalariformes. Les *Mezilaurus* quoique très ressemblants aux *Aniba* peuvent aussi être différenciés par leur plus grande densité (0,8 g/cm³ – 1,0 g/cm³).

Les bois des Lauracées semblant très homogènes, il semblerait intéressant pour une classification plus efficace, de séparer les critères IAWA¹ en plusieurs classes. En effet, les critères qui font loi actuellement sont efficaces dans la séparation des familles et des genres mais pas dans la séparation des espèces. Par exemple, d'autres classes de ponctuations, de densité et de taille des cellules à huile et à mucilage devraient être créées pour les Lauracées. Il en est de même, pour la répartition des vaisseaux et la classification des rayons en coupe tangentielle.

ii. Ecorce

Les caractéristiques microscopiques des écorces se révèlent informatives dans la détermination taxinomique des Lauracées. Peu d'études de systématique ont été effectuées sur l'écorce des Lauracées (Srivastava 1964; Roth 1981). De plus, les caractéristiques étudiées supportent les classifications précédemment citées en sous-familles de Lauracées (cf. p.20).

¹ IAWA: International Association of Wood Anatomists. Il s'agit d'une association de chercheurs travaillant sur l'anatomie des bois du monde. Elle a permis d'homogénéiser certains critères d'identification.

Ainsi, lorsque l'anatomie du bois n'est pas suffisante pour déterminer l'espèce, l'anatomie de l'écorce peut, dans le cas des *Aniba*, discriminer presque toutes les espèces (Richter 1981b).

Dans la PARTIE I l'anatomie des bois des Lauracées sera étudiée en détail.

3.3. Marqueurs chimiotaxinomiques

Les métabolites secondaires produits par la plante sont parfois caractéristiques d'une espèce ou d'un genre. Ainsi, l'huile extraite du bois de rose présente majoritairement du linalol. Il serait intéressant d'étudier les marqueurs chimiques des Lauracées qui pourraient aider à la détermination des taxons. Les marqueurs chimiotaxinomiques des Lauracées les plus étudiés en tant que tels sont des molécules extraites par des solvants organiques de type benzène.

De façon générale, les Lauracées contiennent communément des alcaloïdes, des proanthocyanidines et des flavonols tels que le kaempferol et la quercitine. Une accumulation d'aluminium au sein du bois a été mise en évidence. Les sucres transportés dans la sève élaborée sont le sucrose, des oligosaccharides ou encore des alcools dérivés du sucre (Watson and Dallwitz 1992).

Des molécules du type lignanes, alcaloïdes, phénylpropanoïdes sont considérés comme des marqueurs chimiotaxinomiques des genres *Aniba* et *Ocotea*. Chez 18 des espèces d'*Aniba* étudiées, des composés du type benzytétrahydroquinolines ont été trouvés (Kubitzki and Renner 1982). Ce groupe est séparable en deux sous-groupes : pyrones et néolignanes. Ceux-ci supportent la séparation taxinomique en sous-genres. Les pyrones, que l'on retrouve dans le genre *Aniba*, sont de quatre types différents répartis au sein des espèces. Les flavonoïdes retrouvés dans les *Aniba* sont de type « primitifs ». La rubranine, une chalcone, et une flavonone, la pinocembrine ont été isolées chez certaines *Aniba*. On les retrouve aussi chez *A. rosaeodora* en plus du linalol, composé majoritaire dans ce bois et dans celui d'*A. parviflora*, mais pas chez d'autres espèces de ce genre (Gottlieb 1972). Le groupe taxinomique *A. panurensis* est marqué par les 6-styryl et 6-aryl-2-pyrones, dérivés de l'acétate de cinnamate. Le benzoate et salicylate de benzyle sont fréquents chez celles-ci mais absents de l'huile d'*Aniba rosaeodora* qui est l'une des seules à présenter du linalol. D'autres groupes d'*Aniba* se démarquent de par leurs compositions en phénols, néolignanes ou encore l'absence de pyrone (Kubitzki and Renner 1982). Notons que tous les composés observés chez *Aniba*, le linalol mis à part, sont issus de la voie de biosynthèse du shikimate¹.

Chez *Cryptocarya massoy*, les huiles extraites des écorces et du bois contiennent des molécules spécifiques appelées les massoïa lactones. Ce qui différencie le bois de l'écorce est la présence de benzoate de benzyle dans l'huile provenant de l'écorce (Rali, Wossa, and Leach 2007).

¹ Il existe trois grandes voies de biosynthèse de composés chez les végétaux : la voie des dérivés d'acides gras, la voie de synthèse des terpènes qui produit des composés terpénoïdes et la voie du shikimate qui produit des composés benzéniques ou aromatiques.

La majorité des composés secondaires observés au sein du genre *Nectandra* sont des dérivés de la phénylalanine. Quelques espèces présentent des alcaloïdes de type aporphine. Des composés de type phénylpropanoïdes ou leurs dérivés sont fréquents ainsi que les lignanes et les néolignanes, des stéroïdes et des terpénoïdes (Rohwer 1993).

Ocotea rodiaei est source d'alcaloïdes : berbérine, nectandrine (écorce, branches) et d'acide berbérique (graines) (Hearst 1963)

Les alcanes extraits des feuilles de *Persea* constituent de bons marqueurs chimiques des espèces de ce genre. Les répartitions taxinomiques en sous-genres sont aussi bien démarquées par les analyses chimiques. De plus les hybrides montrent un complexe d'alcanes provenant des deux individus dont ils sont issus (Scora, Bergh, and Anthony Hopfinger 1975). Pour le genre *Persea*, le méthylchavicol, peut être considéré comme marqueur de *Persea americana* var. *nubigena* et var *drymifolia*, cela permet de distinguer l'avocat du Mexique de celui du Guatemala. De même, les avocadofuranes sont des marqueurs de *Persea indica* (Scora and Scora 2000).

Ces études apportent la confirmation d'une possibilité de détermination du genre grâce à des extraits de feuilles ou de bois. Cependant, la méthode d'extraction fait appel à des solvants polluants et chers (éther de pétrole, hexane, méthanol etc.). La méthode d'échantillonnage est destructrice (couper un arbre, le blesser de façon significative afin d'avoir suffisamment de matériel à extraire) ou est compliquée et coûteuse (pour prélever des feuilles il faudrait faire appel à un grimpeur). C'est pourquoi, nous nous sommes penchés sur un autre type d'analyse, rapide, « propre » et non-destructif, l'analyse des composés volatils émis par les écorces. Le procédé d'analyse sera détaillé dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Pour l'instant, intéressons-nous aux composés volatils émis par les écorces.

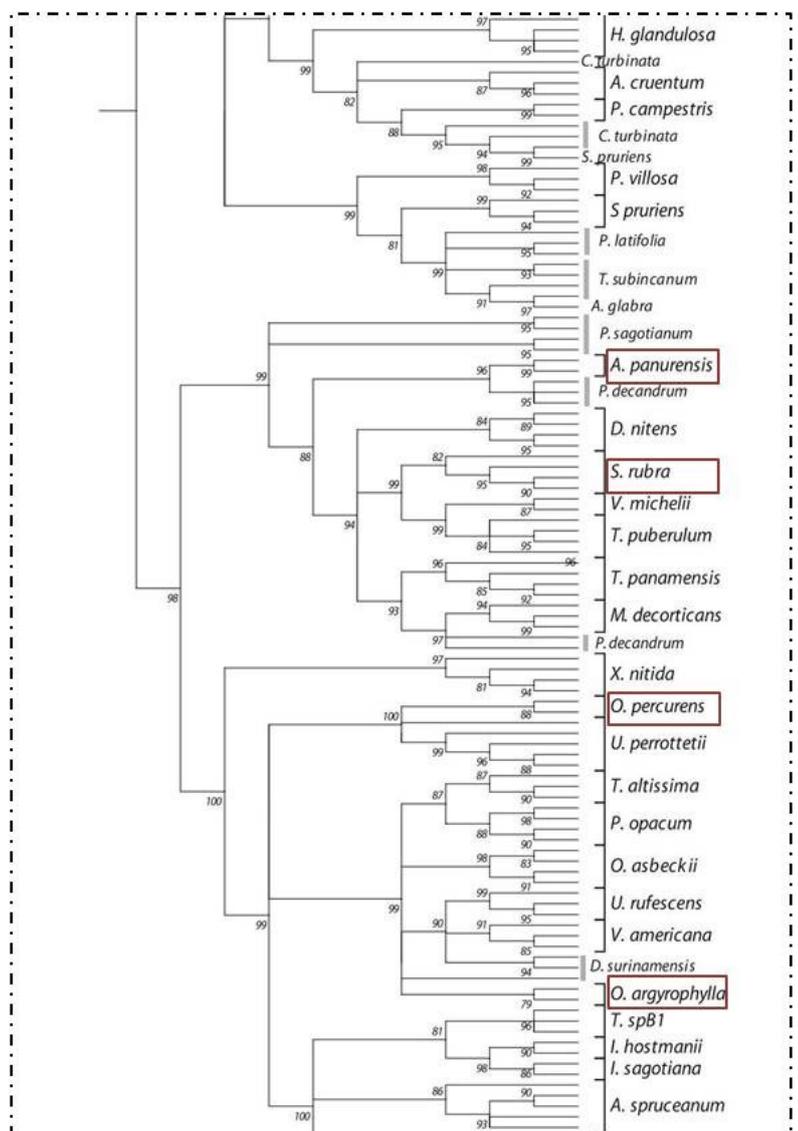


Figure 9: Extrait de la phylogénie chimique de Courtois et al. 2009

Il a été démontré qu'une combinaison de molécules extraites de l'écorce pouvait permettre de caractériser une espèce et servir de base à une phylogénie chimique (Courtois et al. 2009). L'arbre de la Figure 9 a été obtenu par classification ascendante hiérarchique selon la méthode de Ward d'après une matrice de distance de Manhattan. Cette matrice est calculée à partir de la présence ou l'absence des composés dans la signature chimique de l'écorce de différents individus. Cette phylogénie nous permet de voir que les 4 espèces de Lauracées possèdent un bon regroupement. Cependant, elles sont dispersées sur l'arbre. C'est pourquoi, nous nous intéressons aux composés volatils émis par les écorces. Nous avons donc mené une étude détaillée dans la PARTIE II sur l'origine et la nature des composés organiques volatils émis par les arbres de la famille des Lauracées.

3.4. Génétique, taxinomie et barcoding

Le barcoding consiste à attribuer un code barre génétique unique à une espèce dans le but d'aider à sa détermination taxinomique. De nombreuses applications dans le domaine du barcoding animal sont réussies. Cette méthode s'avère efficace dans l'identification de plusieurs espèces de gastéropodes marins et coquillages (Meyer and Paulay 2005; Hajibabaei et al. 2007). Pour le règne animal, il faut 650 pb (paires de base) pour identifier à l'espèce (Kane and Cronk 2008). Des séquences plus courtes (150 pb) en utilisant l'intron *trnL* sont utilisées pour déterminer le régime alimentaire des herbivores à partir de leurs fèces (Valentini et al. 2009).

La reconstruction de la phylogénie végétale se base actuellement sur des séquences d'ADN chloroplastique (ADNcp) (Chase et al. 1993; Gielly and Taberlet 1994; Baldwin et al. 1995; Rohwer 2000; Chanderbali, Werff, and Renner 2001). Le gène *rbcL*¹ en particulier a été largement étudié et a montré une bonne résolution dans la séparation des familles (Chase et al. 1993). Plus de 2000 gènes *rbcL* ont été séquencés dans le règne végétal (Judd et al. 2001). Cependant, son efficacité a une limite. Par exemple au sein de l'ordre des Zingibérales, ce gène ne présente pas de divergence entre les ordres ou au sein des familles (Smith, Kress, and Zimmer 1993) C'est pourquoi des régions non-codantes ont été testées afin d'essayer d'augmenter la résolution. En effet, puisque les régions non-codantes sont soumises à moins de contraintes fonctionnelles que les régions codantes, elles devraient montrer plus de polymorphisme intergenres et interespèces. C'est pourquoi de nouveaux marqueurs ont commencé à être utilisés tels les marqueurs inter-géniques *trnH-psbA* ou *trnC-gCf6* (Gielly and Taberlet 1994; Shaw et al. 2005; Kress et al. 2005).

Etant donné que ces marqueurs permettent d'augmenter la résolution de la phylogénie, l'idée émerge d'utiliser le code génétique pour identifier les plantes, comme c'est déjà en cours dans le règne animal (Chase et al. 2005; Cowan et al. 2006; Erickson et al. 2008). Le code barre ADN idéal est un fragment de 700 pb variable, amplifiable avec des amorces universelles, il s'agit de trouver une ou des séquences uniques caractérisant une espèce. Cette technique

¹ Le gène *rbcL* est un gène chloroplastique qui code la grande sous-unité de l'enzyme photosynthétique ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygénase (Judd et al. 2001))

pourrait permettre de distinguer des espèces invasives d'acacias les espèces d'importance économiques. Les espèces du genre *Acacia* sont au nombre de 1355 et très proches morphologiquement. Le barcoding, en utilisant *rbcL*, *trnH-psbA* et *matK* différencie les espèces très proches et les variations géographiques au sein d'une espèce donnée lorsque les échantillons ont été récoltés en Australie, Inde et Afrique (Steven G. and Subramanyam 2009).

Pour certaines espèces hybrides ou en cours de différenciation, le barcoding classique a des limites. En effet, ces espèces partagent deux génomes. On peut alors utiliser des marqueurs d'origine différente, par exemple les *ITS* (Ashfaq et al. 2011). Mais le barcoding est aussi limité dans le cadre d'espèces présentant un grand flux génétique et/ou n'étant pas très bien différenciées, comme c'est le cas chez la pomme de terre sauvage, *Solanum* sect. *Petota* (Spooner 2009). Il faut alors tenter une approche différente qui relève de la théorie de la génétique des populations : l'analyse de la fréquence allélique.

Il est vraiment très complexe de trouver le bon marqueur pour le règne végétal car un marqueur peut permettre de discriminer certaines espèces et pas d'autres. C'est le cas par exemple, du gène codant la synthèse de la cytochrome oxydase (Kane and Cronk 2008). Au Costa-Rica l'effet site sur les marqueurs et la variabilité qui pourrait être induite est en cours d'étude (Kress and Erickson 2008).

Les marqueurs *trnH-psbA* et *rbcL* couplés permettent dans une étude d'espèces appartenant à des familles différentes, de discriminer 88% des espèces contre 79% de réussite si uniquement des gènes codants sont utilisés (Kress and Erickson 2007). Chez les Lauracées, le marqueur *trnH-psbA* montre 0,25% de variations (Cowan et al. 2006). Les marqueurs *rbcL* et *matK* associés montrent un meilleur succès d'identification (Hollingsworth et al. 2009).

Le barcoding basé sur trois loci *rbcLa*, *trnH-psbA* et *matK*, est encore plus efficace pour l'identification à l'espèce toutes familles confondues. Cette méthode marche pour 98% des espèces étudiées et semble robuste. Dans le cas de l'identification à la famille, le taux de réussite est de 100%. Pour l'identification à l'espèce, toutes familles confondues, les taux de réussite sont de 99% (*matK*), 95% (*trnH-psbA*) et 75% (*rbcLa*). En effectuant des combinaisons, on augmente le taux de succès : 92% (*matK+rbcLa*), 95% (*trnH-psbA+rbcLa*) et 98% (trois loci). Notons cependant que les régions *psbA* d'*Ocotea*, *Nectandra*, *Ficus* et *Psychotria* sont très variables (Kress et al. 2009). Les marqueurs *trnH-psbA* présentent une grande divergence interespèces (6,26%), *trnL* (1,06%) et *matK* (0,65%) ainsi que les marqueurs *ITS* (6,23%) (Kress et al. 2009). Dans une étude menée sur des espèces appartenant à différentes familles, *trnH-psbA* est encore cité pour son rôle de marqueur universel et facilement amplifiable. Le taux d'identification maximal est de 70%, sûrement dû à la faible variation des séquences d'ADN plastidique au sein clades dans lesquels de nombreuses espèces existent (Gonzalez et al. 2009). Il existe un logiciel, BLAST¹ qui est utilisé pour comparer les séquences obtenues avec des séquences déjà connues

¹ BLAST : Basic Local Alignment Search Tool (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)

et répertoriées sur le site du NCBI¹ dans le cas de l'identification à la famille, le taux de succès est de 100%, quelque soit la famille étudiée.

En 2010, une étude montre que le marqueur *ITS2* (ribosomal) peut être efficace pour reconnaître les différentes variétés botaniques de *Cinnamomum osmophloeum*, utilisées industriellement et traditionnellement. Cependant l'*ITS2* ne permet pas de distinguer les chémotypes (Lee et al. 2010). Le taux de discrimination de *trnH-psbA* sur 175 échantillons provenant de 117 espèces, soit 35 genres de Lauracées a donné des résultats très probants. En effet, 84% des individus ont été identifiés à l'espèce et 92,3% ont été identifiés au genre. Ce qui en fait le meilleur marqueur parmi *matK*, *rbcL* et *ITS2* pour faire du barcoding à l'échelle de l'espèce ou du genre (Chinese Pharmacology, 2011).

Actuellement, les questions posées par les travaux en cours sur le barcoding sont les suivantes : Existe t-il une séquence universelle caractérisant le règne végétal ? Existe t-il un gène ou une région de l'ADN permettant de distinguer les espèces? Comment obtenir des séquences de bonne qualité c'est à dire, suffisamment longues et facilement amplifiables ? (Ausubel 2009).

Dans la partie génétique de la thèse, j'essaierai de répondre à la question suivante : existe-il un code barre génétique spécifique du genre ou de l'espèce chez les Lauracées ?

4. Conclusion

Chaque discipline peut donc apporter une aide à l'identification. Nous avons vu dans le cas du barcoding qu'il faut parfois 3 régions de l'ADN pour obtenir une identification fiable. C'est le sens de la démarche de certification des espèces végétales par une méthode multicritères qui, à notre connaissance, n'a jamais encore été utilisée. Il s'agira alors d'évaluer la pertinence de chaque discipline (anatomie, chimie et génétique) comme aide à la détermination taxinomique. Puis, de déterminer quelles sont les Lauracées qui pourraient être valorisables en termes de rendement en huile et de disponibilité de la ressource.

Mon travail de thèse porte sur une trentaine d'espèces et plus d'une centaine d'individus, soit environ un tiers des espèces « intéressantes » en Guyane, c'est à dire, susceptibles de produire des huiles. Le frein majeur à ce travail a résidé dans le manque de disponibilité d'une ressource identifiée de façon fiable. Ce travail ne pouvait donc se faire que sur des parcelles à usage scientifique. Là encore, un autre frein est venu s'ajouter à la partie valorisation. En effet, sur les parcelles scientifiques, il n'est pas possible d'abattre les arbres et donc il faut aller les ailleurs, sur des parcelles destinées à l'exploitation forestière. Sur ces sites, les Lauracées n'étant pas préalablement identifiées, il y a eu quelques difficultés à la détermination et il a fallu attendre 2 ans le spécialiste des Lauracées pour vérifier les taxons.

¹ NCBI : National Center for Biotechnology Information (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)

Dans la PARTIE I, l'anatomie des bois sera étudiée, afin de déterminer s'il existe des critères discriminants pour l'identification des Lauracées de Guyane étudiées. Dans un second temps, je me suis attachée à trouver le nombre minimal de caractères discriminants permettant la meilleure reconnaissance.

Puis, dans la PARTIE II, j'ai étudié les composés émis par les écorces des arbres et leur valeur chimiotaaxonomique. Ainsi, la diversité chimique des composés volatils dégagés par l'écorce sera présentée et la spécificité de certaines molécules étudiée. Par ailleurs, des molécules caractéristiques de genre ou d'espèces seront proposées.

Dans la PARTIE III, j'exposerai les résultats du barcoding des Lauracées étudiées. Par approche d'analyse des fréquences alléliques, j'essaierai de définir des haplotypes¹ qui puissent caractériser les genres ou les espèces tout cela afin d'étudier les possibilités de barcoding chez les Lauracées de Guyane.

Enfin, dans la PARTIE IV, la valorisation des Lauracées sera abordée en proposant une méthode d'identification multicritères mais aussi en comparant les similitudes entre signature chimique des huiles essentielles et signature de l'écorce. Il s'agit de déterminer si, dans le cas de la famille des Lauracées, il est possible de prédire la présence de certains composés de l'huile à partir de la signature de l'écorce. De plus le potentiel d'extraction d'une vingtaine d'espèces a aussi été étudié.

¹ Haplotype : Suite ordonnée de bases nucléotidiques

PARTIE I. ANATOMIE DU BOIS

I. Anatomie des Lauracées

L'anatomie est une science permettant la « détermination de la dénomination normale de l'essence d'un bois d'après ses caractères de structure [...] », notamment par l'organisation des éléments structuraux du bois (Normand 1972).

1. Rappels d'anatomie des bois

Cette partie a été rédigée à l'aide de divers supports (Normand 1972; Détienne 1988b; Keller 1994) et de quelques cours d'anatomie du bois. Nous ne traitons que les bois des Angiospermes dicotylédones.

Le tronc d'arbre est constitué de trois grands ensembles : le duramen, l'aubier et l'écorce (Figure 10). Les tissus qui le composent résultent de la croissance en longueur et en largeur de l'arbre. Le duramen, souvent appelé bois parfait, est la partie du bois dans laquelle il ne reste plus de cellules vivantes et dans lesquelles l'amidon a disparu, transformé en autres métabolites secondaires. Souvent, il est plus coloré que l'aubier. Le terme aubier désigne la portion du bois comportant les cellules vivantes et les matières de réserves telles que l'amidon. La sève brute circule dans cette partie du tronc. Le cœur ou bois juvénile, situé au centre du tronc, a souvent des caractéristiques physiques et mécaniques spécifiques car il s'agit du bois mis en place dans les premières années de vie de l'arbre.

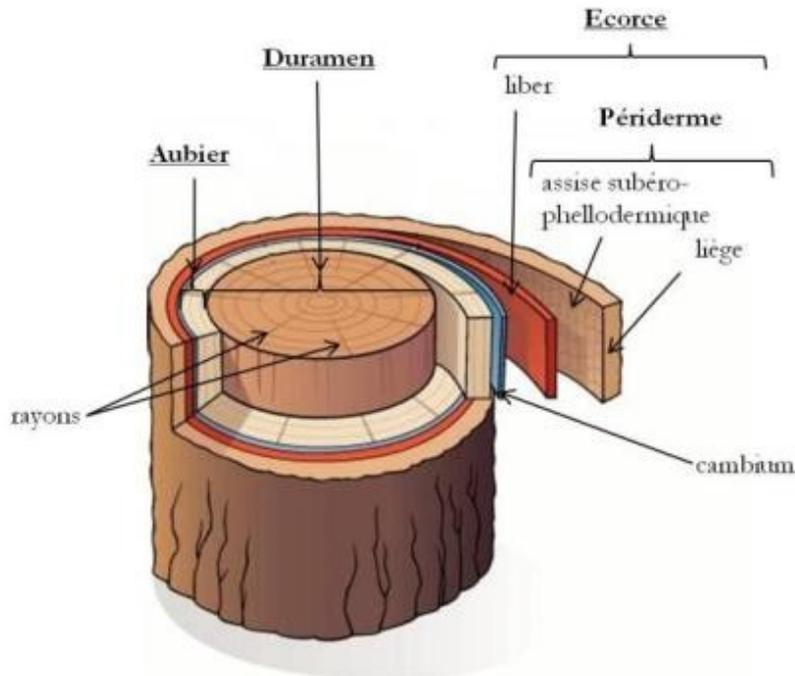


Figure 10: Tissus fonctionnels d'un arbre

L'écorce est la partie protectrice externe de l'arbre. Elle constitue après le bois, le tissu le plus important dans l'arbre. Il peut représenter de 10 à 20% du volume de la branche, cette proportion varie en fonction de l'espèce et des conditions de croissance (Fengel and Wegener

1984). Elle est composée de tous les tissus externes au cambium vasculaire, c'est à dire phloème, encore appelé écorce interne dans lequel circule la sève élaborée et du suber (liège), partie morte et protectrice de l'écorce (Esau 1977; Raven, Evert, and Eichhorn 2003).

Le bois est un matériau anisotrope dont l'organisation des différents éléments constitutifs est caractéristique de chaque espèce. Les éléments du bois sont organisés selon trois plans de référence :

- Le plan transversal : perpendiculaire au fil du bois.
- Le plan radial : orienté de la moelle vers l'écorce. Il suit en général le fil du bois et est perpendiculaire aux cernes d'accroissement
- Le plan tangentiel : perpendiculaire au plan radial.

1.1. Mise en place du bois

Chez les Dicotylédones, le bois est un tissu résultant de l'activité d'un méristème secondaire appelé cambium. Son activité est à l'origine de la croissance en largeur de la plante. Deux types de cellules cambiales donnent naissance à deux types différents de cellules :

- Les cellules allongées axialement donnent naissance à des cellules filles qui se différencient en cellules de xylème secondaire ou de phloème secondaire. Elles, sont appelées cellules fusiformes
- Les initiales de rayons, allongées horizontalement, sont à l'origine des cellules de parenchyme radial, ou rayons ligneux

Chez les jeunes tiges, les cellules de cambium n'atteignent pas encore leur taille caractéristique de l'espèce. Ceci est observé pendant la croissance du bois dit juvénile. Ce bois, situé jusqu'à quelques centimètres après le cœur présente des caractéristiques différentes du bois normal de l'arbre. Quand les initiales du cambium sont disposées en séries horizontales, on dit que leur disposition est étagée. L'activité du cambium, annuelle dans les pays tempérés, entraîne le marquage de cernes de croissance permettant d'avoir accès à l'âge de l'arbre. Dans les pays tropicaux, ceci est plus complexe car l'alternance été-hiver n'existe pas et par conséquent, ne marque pas le bois. Donc, dans ces pays, l'activité cambiale n'a pas forcément une périodicité annuelle.

Lorsque l'arbre atteint un certain âge, les tissus subissent un processus appelé duraminisation. Il s'agit de l'ultime processus de différenciation des cellules du bois et conduit à la formation du bois de cœur ou duramen, à ce stade toutes les cellules du bois sont mortes. La duraminisation confère à l'arbre ses principales propriétés physico-chimiques (durabilité) et esthétiques (coloration) mais aussi certaines propriétés physiques comme ses propriétés hygroscopiques ou acoustiques ainsi que ses coefficients de frottement qui conditionneront son utilisation. La partie non duraminisée dans laquelle subsistent les éléments conducteurs, est l'aubier. Par conséquent cette partie est moins durable que le duramen.

1.2. Eléments constitutifs du bois

Différents éléments fonctionnels constituent le bois. Ils sont illustrés Figure 11.

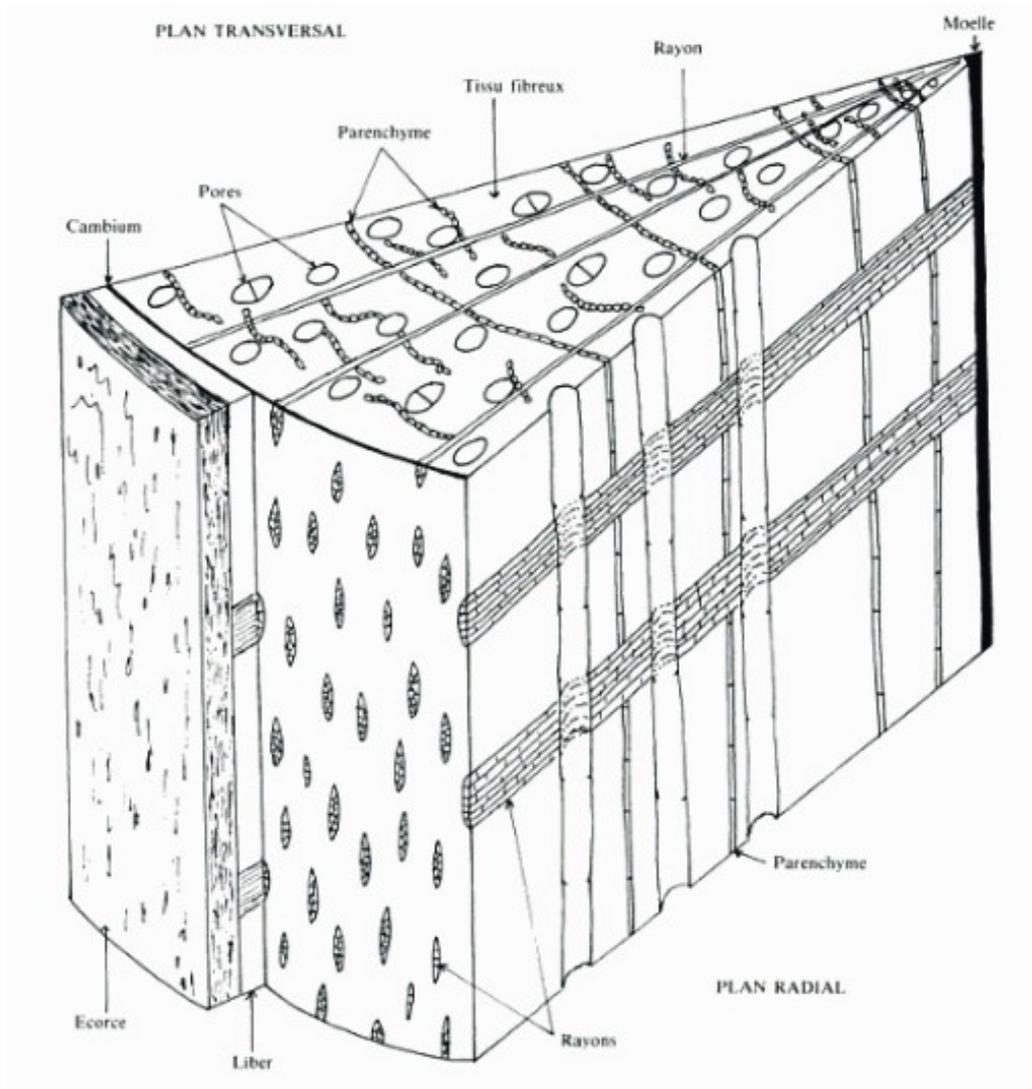


Figure 11: Schéma de principe d'une tige de Lauracée

1.2.a. *Eléments de conduction*

Les vaisseaux, sont des alignements verticaux de cellules encore appelés éléments de vaisseau, mis bout à bout et dont la paroi des extrémités inférieures et le protoplasme ont disparu, créant ainsi une perforation. Ces perforations peuvent être simples, en réseau, foraminées ou en grille. Ils constituent le tissu de conduction de la sève brute, leur densité est de 2 à 40 pores par mm². La longueur moyenne d'un élément de vaisseau est de 150 à 1900 µm et leur diamètre tangentiel varie de 25 à 400 µm.

En zone tempérée, on observe chez certaines espèces une variation saisonnière de la taille des vaisseaux. Ils sont plus gros en début de cerne et plus petits en fin de cerne. On appelle ces bois, bois à zone initiale poreuse. Ils sont par définition différents de bois à pores diffus ou de bois à zone initiale semi-poreuse. La différence se voit en coupe transversale à l'œil nu ou avec

une petite loupe de terrain. En zone tropicale, des cernes sont parfois observables mais ne correspondent pas à nécessairement une croissance annuelle.

Quelques fois les vaisseaux peuvent présenter des dispositions particulières en dendrites (Figure 12 a) ou en lignes tangentielles (Figure 12 b). De plus, les pores eux-mêmes peuvent être isolés, accolés radialement par 2, 3 ou plus.



Figure 12 : Coupe transversale de *Lycium minimum* (a) vaisseaux en dendrites et *Bumelia obovata* (b), vaisseaux en lignes tangentielles¹

La sève circule principalement verticalement, au sein de ces éléments conducteurs mais aussi de façon plus anecdotique, horizontalement d'un élément de vaisseau à l'autre ou à un autre de type de cellule par des ponctuations intervasculaires. Elles peuvent être rondes, allongées, hexagonales. Leur disposition également est caractéristique : opposées, alternées (en quinconce) ou scalariformes comme illustré sur la Figure 13.

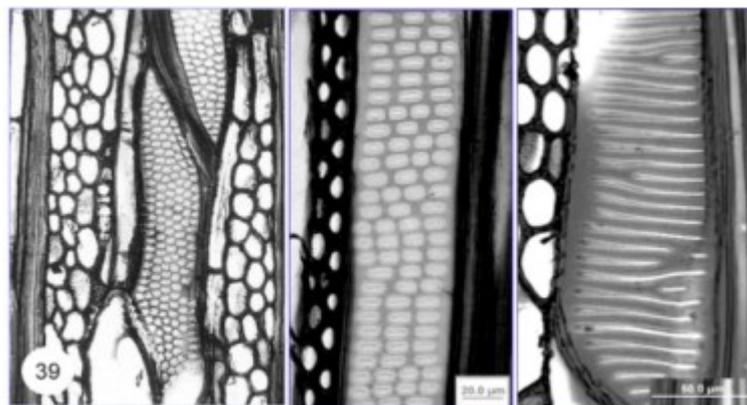


Figure 13: Ponctuations intervasculaires alternées, opposées et scalariformes²

Chez certaines espèces, lorsque les vaisseaux ne sont plus fonctionnels – dans le duramen, ils sont envahis par des thylles, excroissances des cellules parenchymateuses accolées qui s'immiscent dans la lumière des vaisseaux par les ponctuations et obstruent plus ou moins les vaisseaux. Quand leurs parois sont lignifiées, on parle de thylles scléreux (Figure 14 a).

¹Source :Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

²Source :Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

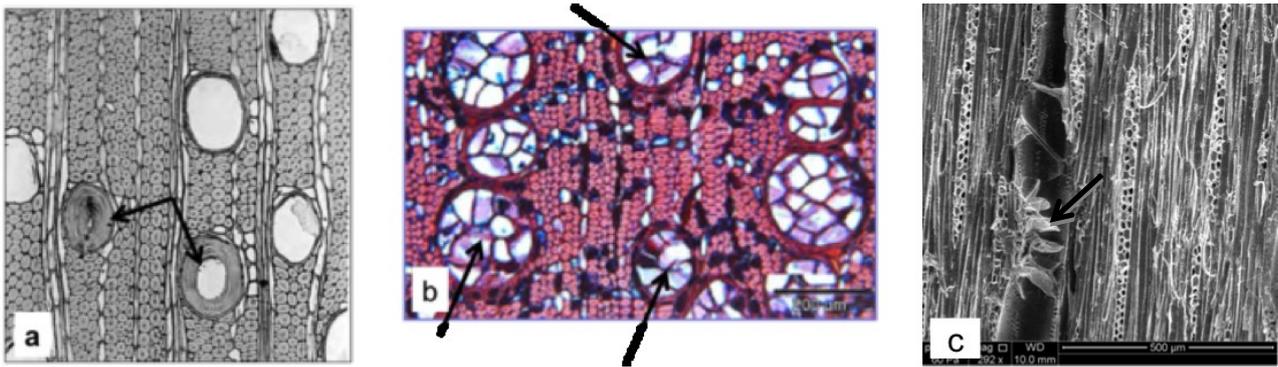


Figure 14: Thylles scléreux (a) et fins (b) en coupe transversale et en coupe tangentielle (c)¹

1.2.b. *Les éléments de soutien*

Les fibres sont des éléments lignifiés, responsables quantitativement de la densité du bois.

i. *Fibres libriformes*

Ce sont des fibres qui jouent un grand rôle de soutien de la plante. Il s'agit de cellules mortes qui sont 50 fois plus longues que larges. Les parois peuvent être plus ou moins épaisses, de même que les ponctuations plus ou moins grosses.

ii. *Fibres intermédiaires*

Il existe trois types de fibres intermédiaires :

- Les fibres-trachéides : Elles présentent des ponctuations aréolées, par conséquent, elles ont un rôle de soutien et un rôle de conduction.
- Les fibres ouvertes : Ce sont des éléments de vaisseau de petit diamètre ressemblant à des fibres trachéides mais avec un rôle de conduction plus marqué
- Les fibres septées ou cloisonnées. La cloison provient de la division du protoplasme ayant lieu après la formation de la paroi secondaire. C'est ce type de fibre qui est le plus couramment observé chez les Lauracées (Figure 15).

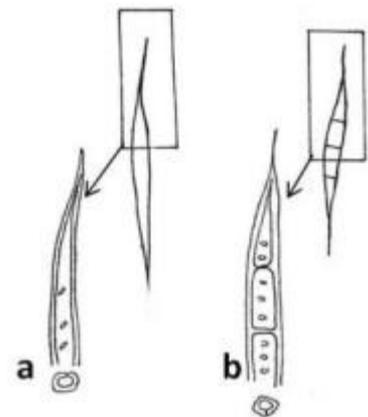


Figure 15: Fibre ouverte (a) et cloisonnée (b)

1.2.c. *Parenchymes*

Les parenchymes sont des tissus peu différenciés qui permettent le stockage de réserves et leur redistribution dans la plante. Pour cela leurs parois sont peu lignifiées. Ils restent longtemps fonctionnels et leur activité ne cesse que dans le duramen. À l'œil nu, le parenchyme apparaît plus clair que les fibres.

Les cellules parenchymateuses sont en général isodiamétriques ou allongées, plus ou moins arrondies dans les angles. Il en existe de deux sortes : le parenchyme radial et le parenchyme longitudinal.

¹ Source :Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

i. Parenchyme radial

Il se trouve sous la forme de lames de parenchyme dirigées du cœur vers l'écorce. Il s'agit des rayons ligneux qui ont un rôle de stockage. Ils peuvent être de deux types (Figure 16) qui ont été séparés par Kribs (Carlquist 2001) :

- Homocellulaires : comprenant uniquement des cellules couchées rectangulaires
- Hétérocellulaires : comprenant un mélange de cellules couchées et de cellules dressées et/ou de cellules carrées. Kribs a effectué une classification de ces rayons en fonction de la disposition et du nombre de couches de cellules carrées. Le rayon comprenant une couche de cellules carrées ou dressées aux extrémités du rayon est dit de type I. Le type II concerne les rayons montrant 2 à 4 couches de cellules carrées ou dressées. Le type III indique que les couches de cellules carrées ou dressées et les cellules couchées sont mélangées dans le rayon.

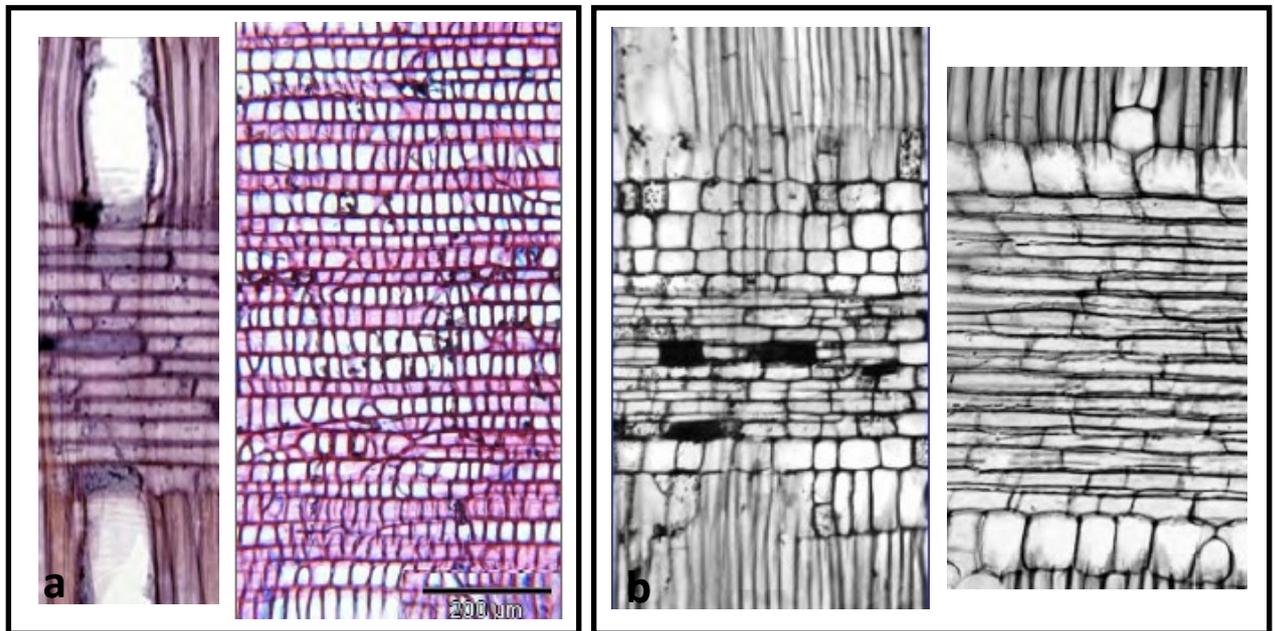


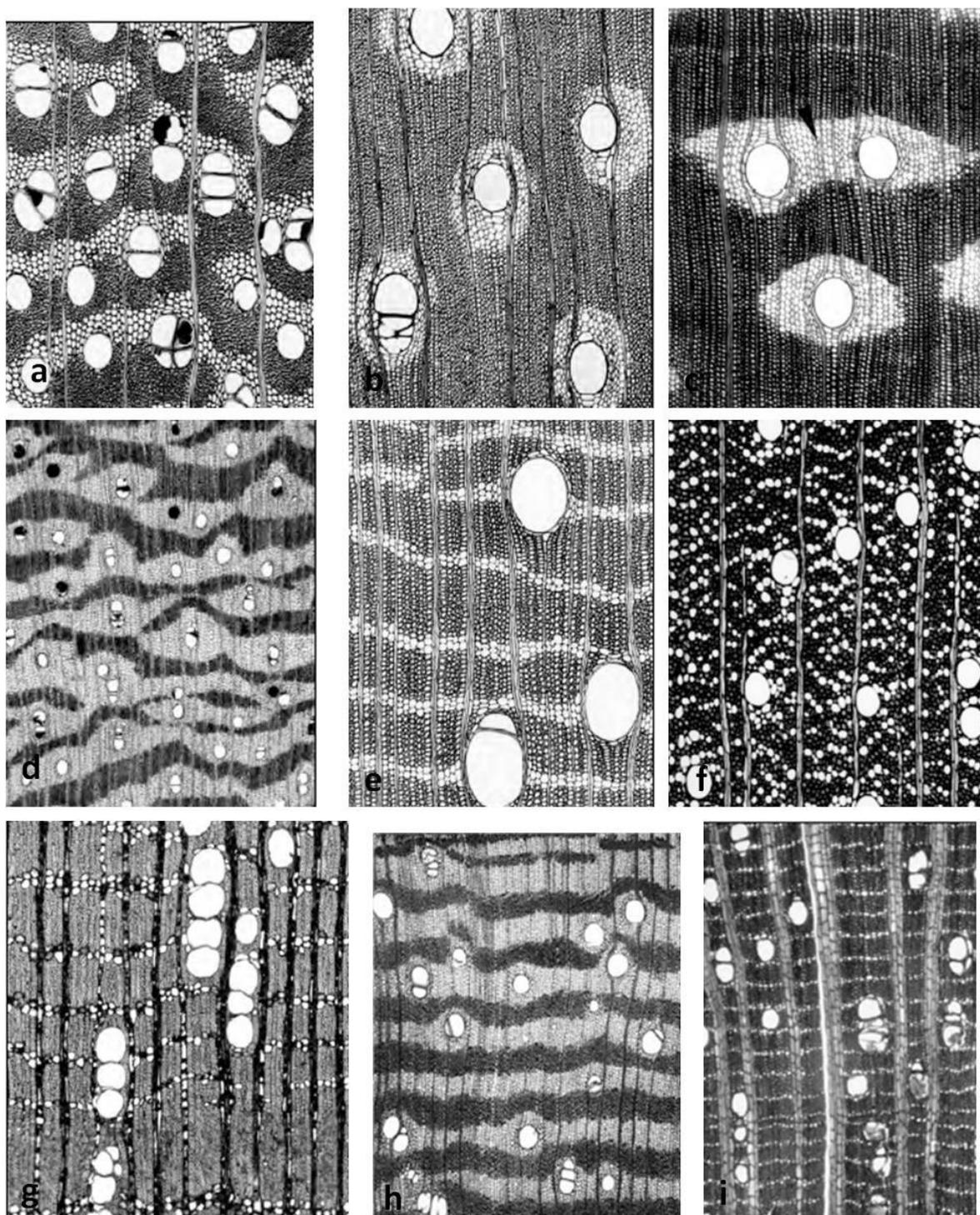
Figure 16: Rayons ligneux homocellulaires (a) et hétérocellulaires de type II et I (b)¹

ii. Parenchyme longitudinal

Les cellules de parenchyme peuvent être soit, associées aux vaisseaux selon des formes spéciales – parenchyme paratrachéal – soit, dispersées ou agglomérées tangentiellement entre elles dans le tissu fibreux – parenchyme apotrachéal. Ces différentes dispositions sont illustrées sur la Figure 17.

Le parenchyme se sclérifie par lignification des parois de cellules parenchymateuses dans des organes dont la croissance est achevée.

¹ Source: Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)



Parenchyme paratrachéal: a. unilatéral – b. en manchons circumvasculaires –
c.&d. aliforme confluent

Parenchyme apotrachéal: e. réticulé – f. diffus en agrégats – g. en bandes fines –
h. en bandes épaisses – i. scalariforme

Figure 17: Dispositions des cellules de parenchyme dans le bois¹

¹Source :Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

1.2.d. Les ponctuations

Il existe trois types de ponctuations :

- Les ponctuations de champ de croisement : communications entre les vaisseaux et le parenchyme radial (Figure 18)
- Les ponctuations intervasculaires : existent entre les vaisseaux qui sont accolés. Elles sont visibles sur une coupe radiale si les vaisseaux sont accolés tangentiellement et sur une coupe tangentielle si les vaisseaux sont accolés radialement (p. 46 - Figure 13)
- Les ponctuations entre vaisseaux et parenchyme longitudinal : elles sont aréolées côté vaisseau et simples du côté du parenchyme

L'agencement de ces trois types de ponctuations est aussi caractéristique de chaque espèce.

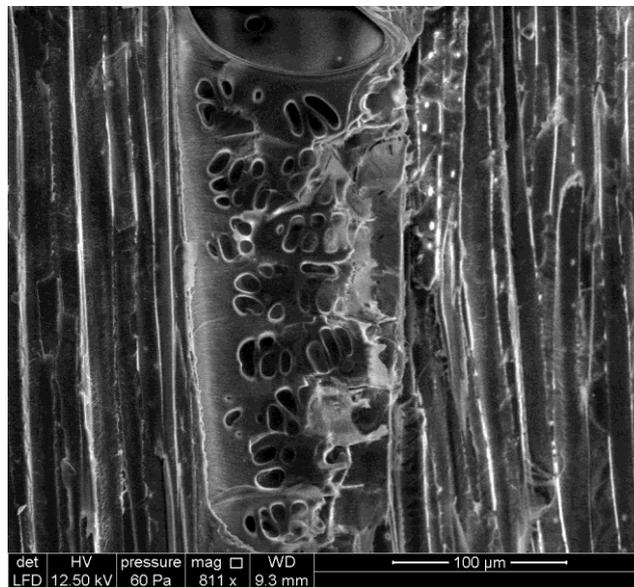


Figure 18: Ponctuations de champ de croisement ooformes (3 à 5 par champ de croisement)

1.2.e. Eléments accessoires

i. Eléments sécréteurs

Les cellules à huile sont des cellules isolées qui sont parfois associées au parenchyme radial ou au parenchyme longitudinal (Figure 19). Elles contiennent des huiles essentielles produites par le métabolisme secondaire de la plante. La plupart des bois des Lauracées en contiennent.

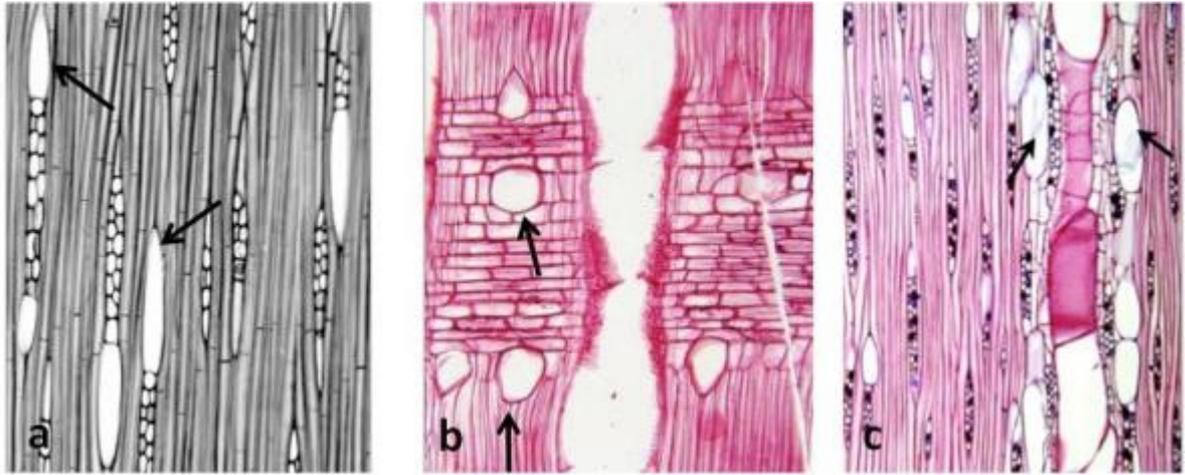


Figure 19: Cellules à huile associées au parenchyme radial (a : Coupe tangentielle & b : Coupe radiale) et longitudinal (c)

ii. Cristaux et silice

Certains bois présentent des corps siliceux ou des cristaux particuliers dans leur parenchyme radial ou longitudinal (Figure 20).

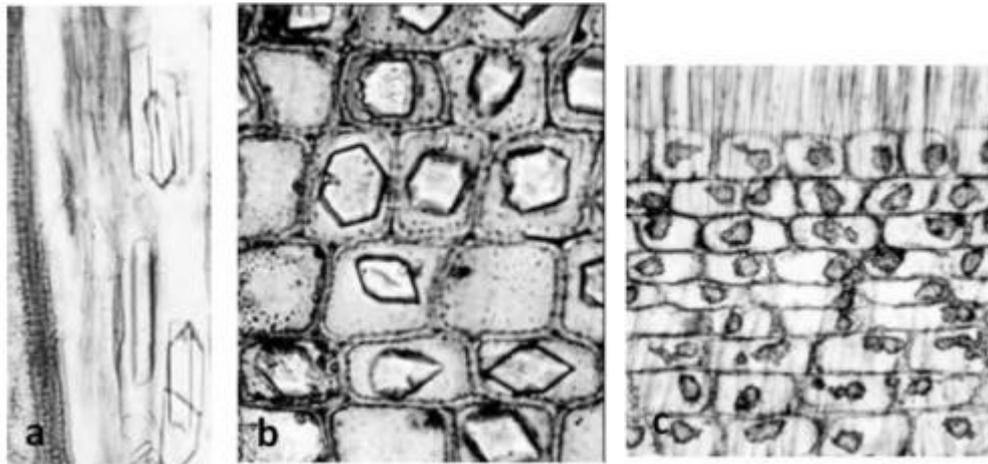


Figure 20: Cristaux styloïdes (a), prismatiques (b) et corpuscules de silice (c)

2. Les cellules à huile des Lauracées

2.1. Cellules à huile et à mucilage

Les cellules communément appelées cellules à huile appartiennent au groupe des idioblastes sécréteurs¹ dont l'origine est très peu comprise (Foster 1956). Une hypothèse est que la différenciation cellulaire proviendrait d'une séparation de systèmes biochimiques spécifiques au sein de la cellule mère et que la séparation se finirait par l'établissement de la paroi cellulaire entre les deux cellules-filles (Foster 1956 cite Commoner et Zucker 1953).

¹ Idioblaste : cellule d'un tissu différenciée par la forme, la taille, le contenu

Les cellules à huile sont généralement associées au parenchyme radial ou longitudinal, Elles sont parfois éparses entre les fibres de bois. Une étude de H. H. Janssonius (1925), sur les cellules à huile et à mucilage sur 5 espèces appartenant au genre *Cinnamomum* a permis de faire les observations suivantes : les cellules à huile sont plus nombreuses sur la face radiale que sur la face tangentielle et sont en contact direct avec les vaisseaux. Elles sont situées à la marge du parenchyme qui est souvent paratrachéal (Janssonius 1926). De plus, lorsqu'elles sont en petit nombre, elles sont toujours isolées. Ces cellules à huile sont ellipsoïdes ou en forme de tonneau. Elles sont plus grandes dans la dimension longitudinale. Elles sont plus larges que les cellules de parenchyme et les cellules des rayons ligneux. Les murs des cellules sont lignifiés et fins. Des cellules à mucilage disposées de la même manière que les cellules à huile ont aussi été observées par l'auteur. De plus les dispositions des cellules à huile et les cellules à mucilage suggèrent qu'un type de cellule pourrait « remplacer » l'autre. Les cellules à huile sont souvent plus nombreuses que les cellules à mucilage sauf chez *C. burmanii* chez qui les cellules à mucilage sont beaucoup plus nombreuses que les cellules à huile. Chez trois espèces *C. iners* Reinw., *C. javanicum* Blume, *C. burmanni* Blume, les cellules à mucilage sont larges, associées par deux ou plus. Si le bois est trempé dans l'eau, les murs communs entre les cellules disparaissent. Cela a pour conséquence d'avoir une plus faible élasticité du bois qui peut être plus facilement mis en forme. En relation avec une étude menée par Moll et Janssonius sur l'observation microscopique de l'écorce de *C. zeylanicum*, il conclut que les cellules à huile pourraient « remplacer » les cellules à mucilage et inversement, ce qui serait responsable des différences notables de la qualité des écorces de cannelle car leur contenu est très différent (huile dans une, polysaccharides dans l'autre).

Les résultats de cette étude ont été expliqués et confirmés par la suite grâce à l'observation des cellules à mucilage des feuilles et des apex de pousses de *C. burmanii* et *C. verum* (Berker and Gerritsen 1989). Les cellules à huile sont généralement distinctes des cellules à mucilage de par la structure de leur paroi cellulaire qui est formée par une couche subérisée entre deux couches de cellulose. Les cellules à mucilage sont connues pour avoir seulement une paroi formée de polysaccharides. Or, l'étude a montré qu'au début de la croissance des cellules à mucilage dans les jeunes pousses des espèces étudiées, une couche subérisée se forme rendant indistinctes les futures cellules à huile et à mucilage. C'est seulement en cours ou fin de croissance que l'on peut savoir si la cellule est une cellule à mucilage, de par l'observation de son contenu. Le contenu a été détecté grâce à un polysaccharide qui se colore par la réaction de Thiéry. Chez les feuilles, seules des cellules matures ont été observées et il s'agit des mêmes cellules que celles présentes dans les brindilles. De plus les auteurs font référence à trois études sur des Lauracées de Maron et Fahn. (1979), Platt-Aloia et al. (1983) et Baas et Gregory (1985) et qui ont observé que la couche subérisée des cellules à mucilage est la même que celle des cellules à huile. En conclusion, les cellules à huile et les cellules à mucilage sont dérivées des mêmes cellules initiales.

2.2. Formation et structure

2.2.a. Cellule à huile

La paroi d'une cellule à huile présente trois couches : la couche primaire, une lamelle de subérine¹ et une couche tertiaire. Après la formation de la paroi tertiaire, une cavité à huile se forme. Cette cavité est entourée d'une membrane plasmique et est attachée à la paroi cellulaire par une protubérance, la cupule. L'huile est synthétisée dans les plastides et relâchée dans le cytosol. Elle est sécrétée dans cette cavité par la membrane plasmique, cette dernière sera détruite à la maturation de la cellule (Figure 21). La paroi subérisée permet d'éviter que l'huile, cytotoxique ne se répande sur les cellules voisines (Evert and Esau 2006).

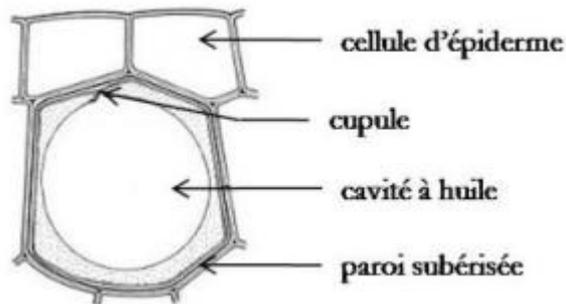


Figure 21: Structure schématique d'une cellule à huile

2.2.b. Cellule à mucilage

Le mucilage que contient la cellule à mucilage est lui, synthétisé par l'appareil de Golgi. La paroi primaire et la paroi subérisée se mettent en place puis, la vacuole se collapse, du mucilage est sécrété contre la paroi subérisée jusqu'à disparition de la vacuole. La cellule mature possède deux parois et est remplie de mucilage (Figure 22).

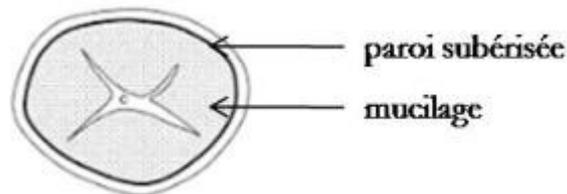


Figure 22: Représentation schématique d'une cellule à mucilage

3. Anatomie des Lauracées

La famille possède des caractéristiques morphologiques florales mais aussi anatomiques qui la distinguent des autres familles. Cependant, la détermination au genre est très laborieuse du fait de la grande homogénéité des pièces florales de cette famille.

Une première revue sur l'anatomie des Lauracées a été effectuée il y a plus de 50 ans (Stern 1954). Au total 51 espèces ont été étudiées dont 10 espèces listées en Guyane (*Aniba*

¹ Subérine : substance chimique imperméabilisante

kappleri, *A. hypoglauca*, *Endlicheria endlicheriopsis*, *E. sericea*, *Licaria cannella* (syn. *cayennensis*), *L. chrysophylla* (syn. *rigida*), *Mezilaurus itauba*, *Nectandra globosa*, *Rhodostemonodaphne kunthiana* et *Persea americana*). Des limites de cernes sont observées pour 82% des espèces étudiées. Cette présence est dépendante des individus. Tous les bois présentent des pores diffus. Cinquante à quatre-vingt quatre pourcent des vaisseaux est isolé.

Cette partie est une revue bibliographique de l'anatomie des genres de Lauracées répertoriés en Guyane française.

3.1. Genre *Aniba*

Le genre *Aniba* a été établi en 1775 par Aublet et revu en 1889 par Mez. Avant cela, des espèces du genre *Aniba* étaient parfois classées dans le genre *Ayodendron*. Sur les 41 espèces présentes dans les zones néotropicales et reconnues par Kubitzki, l'anatomie du bois de 29 espèces a été étudiée (Richter 1981; Hernández, Williams, et Espinoza de Pernía 2003).

Le bois des *Aniba* présente un aubier différencié. L'aubier est généralement jaunâtre et le duramen olivâtre, dur et assez dense (0,58 – 0,78 à 6-8%) voire très dense dans le cas de *A. canelilla* et *A. ferrea* (1,10-1,29). *A. canelilla* et *A. rosaeodora* ont une odeur terpénique, *A. guianensis* et *A. affinis* n'ont pas d'odeur. Tous les autres bois étudiés présentent une odeur aromatique. *A. cylindriflora*, *A. permollis*, et *A. parviflora* exsudent une substance cristalline jaune lorsqu'ils sont fraîchement coupés. Des cernes sont parfois marqués par un épaissement des parois des fibres dans le bois tardif, chez *A. riapria*, des lignes de parenchyme en limite de cerne sont observées.

Les pores du bois sont diffus, et ont tendance à s'arranger en diagonale. Les vaisseaux ne présentent pas de disposition particulière et sont le plus souvent solitaires ou associés radialement par multiples de 2, 4 voire 6. La paroi des vaisseaux est fine, les éléments de vaisseaux sont circulaires avec des diamètres tangentiels de 130 μm en moyenne, allant jusqu'à 210 μm . La densité des vaisseaux est de 7 – 14 – 20/ mm^2 . Ils sont à perforation simple et les ponctuations intervasculaires sont alternes de diamètre 9 à 11 μm . Des thylles à paroi fine ont été observés chez tous les individus à l'exception de *A. canelilla* et *A. ferrea*, chez qui on observe des thylles scléreux.

Les fibres sont libriformes à paroi moyennement épaisse à l'exception des deux bois très durs *A. canelilla* et *A. ferrea* dont les parois obturent presque le lumen.

Le parenchyme paratrachéal forme des manchons complets ou incomplets autour des vaisseaux. Il a été occasionnellement observé des bandes terminales de parenchyme (Record et Hess (1924) ; Loureiro (1976)). Dans ces cas le parenchyme est en bandes tangentiels, unisériées, et discontinues indiquant les cernes de croissance. Ce caractère n'est pas constant et ne peut être considéré comme caractéristique d'une espèce.

Les rayons ligneux sont bisériés, hétérocellulaires de type II. Les cellules marginales (1 à 4 rangées) sont carrées chez presque toutes les espèces. En revanche, chez *A. canelilla* et *A. ferrea*, elles sont allongées et fines. Leur hauteur moyenne est de 0,53 mm, de 4 à 9 par millimètre.

Les ponctuations de champ de croisement sont larges, de forme ronde à irrégulière ressemblant à des entailles.

Dans la plupart des échantillons, des cristaux d'oxalate de calcium de type styloïdes à tablétoïdes ont été observés. Ils sont de carrés à allongés. Ils sont totalement absents chez les espèces *canelilla*, *ferrea*, *jenmani*, *precoriacea*, *perutilis*. Il a également été observé une absence de cristaux sableux, de silice ou de cristaux rhomboédriques.

Les cellules à huile sont fréquemment associées avec le parenchyme vertical. *A. guianensis* ne présente pas de cellules à huile. Dans 80% des échantillons, les cellules à huile sont aussi associées aux cellules terminales des rayons ligneux.

En conclusion, le genre *Aniba* est relativement homogène et aisément différenciable des autres genres des Lauracées de par sa couleur jaune et la présence de cristaux styloïdes et tablétoïdes. En revanche, la détermination de l'espèce à l'aide de l'anatomie reste difficile, vu l'homogénéité des caractéristiques au sein du genre. Cependant, quelques espèces peuvent être séparées par plusieurs critères : *A. rosaeodora* a une odeur caractéristique de linalol, *A. cylindriflora*, *A. parviflora* et *A. permolis* exsudent une résine cristalline quand ils sont fraîchement coupés, *A. ferrea* et *A. canelilla* ont une forte densité, et pas d'inclusions cristallines de plus elles sont différenciables l'une de l'autre par l'odeur de cannelle de *A. canelilla*.

Les bois des *Aniba* sont homogènes et leurs rayons ligneux contiennent des cristaux parallélépipédiques (90% des individus étudiés). L'anatomie de l'écorce permet une bonne caractérisation du genre et des espèces. En effet, chez presque toutes les espèces du genre, des fibres phloémiennes sont absentes et des sclérites en colonne sont observées dans le parenchyme fonctionnel et non-fonctionnel, ce qui est un caractère très rare chez les Lauracées. L'anatomie de l'écorce peut représenter un outil puissant dans l'identification du genre.

3.2. Genre *Endlicheria*

Endlicheria endlicheriopsis et *E. sericea* présentent des cernes d'accroissement. Le bois est blanchâtre à marron. La paroi des vaisseaux est fine. Les vaisseaux présentent des thylles fins. Le bois présente un contrefil. Il y a 4 à 10 vaisseaux par millimètre carré pour la première espèce et 12 à 20 pour la deuxième (Stern 1954).

Les ponctuations intervasculaires sont alternées et de grande taille.

Les rayons ligneux sont hétérocellulaires de type IIB et unisériés ou bisériés, de une à six cellules de hauteur pour les unisériés. *Endlicheria sericea* présente des rayons très grossiers dont la hauteur peut aller de 4 à 66 cellules, contre 5 à 27 pour *E. endlicheriopsis*.

Des cellules à mucilage sont rencontrées fréquemment au sein de ce genre (Figure 23).

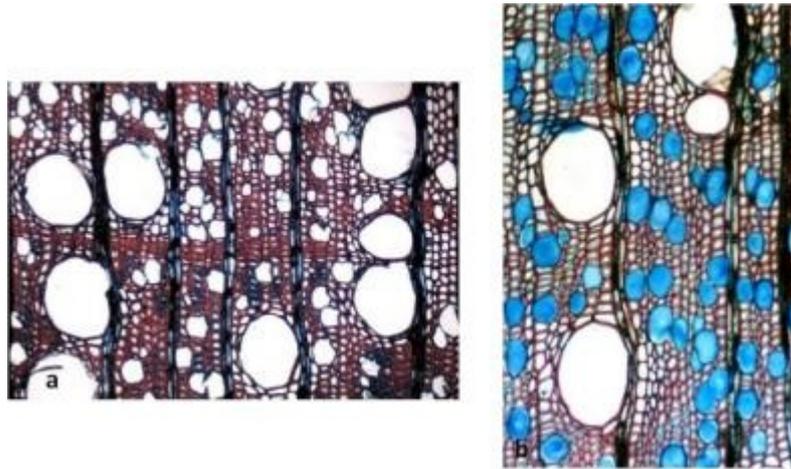


Figure 23: Cellules à mucilage (a) mises en évidence en bleu (b) chez E. multiflora¹

3.3. Genre *Licaria*

Le bois de *Licaria* est jaunâtre à verdâtre, parfois marron. Ce bois peut être très lourd, en particulier *L. cannella* et *L. puchury-major* (de 0,7 à 1,25). Il dégage une odeur particulière mais elle n'est pas aussi entêtante que celle des espèces des genres *Cinnamomum* et *Aniba* (Stern 1954; Richter 1985).

Les bois étudiés sont séparés en trois sous-genres, de par leurs caractères végétatifs : *Armeniaca* (*L. pachycarpa*, *L. armeniaca*, *L. vernicosa* et *L. debilis*), *Canella* (*L. cannella* et *L. puchury-major*) et *Guianensis* (*L. guianensis*, *L. martiniana*, *L. aurea*, *L. chrysophylla* et *L. oppositifolia*).

Les bois possèdent des pores diffus, avec quelques fois des tendances à un arrangement en diagonale. Les vaisseaux sont isolés ou accolés radialement par multiples de 2 ou 4. Les diamètres moyens mesurés au sein des sous-genres *Armeniaca*, *Guianensis* et *Cannella* sont respectivement de 70 μm et 110 μm et 150 μm . Les densités de vaisseaux sont de 24, 13 et 7 vaisseaux/ mm^2 . Les perforations des vaisseaux sont simples. Ces vaisseaux présentent des thylls parfois scléreux. *L. chrysophylla* présente des cernes d'accroissement.

Les ponctuations intervasculaires sont toujours en quinconce, rondes à polygonales, de diamètre relativement grand. : 7 à 9 μm , 9 à 11 μm et 10 à 12 μm .

Les ponctuations de champ de croisement sont communes, rondes à élargies, en forme de grille déchirée.

Les fibres ligneuses sont souvent cloisonnées, mis à part si le lumen de la fibre est très réduit. Les ponctuations sont plutôt situées sur les faces radiales de fibres et sont assez larges, d'un diamètre moyen de 15 μm .

¹ Source Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

Le parenchyme semble paratrachéal, il est peu développé, plutôt vasicentrique. Il n'est visible que lorsqu'il est accompagné de cellules à huile. Il y a quelques lignes de parenchyme apotrachéal unisériées en limite de cerne.

Les rayons ligneux sont hétérocellulaires de type II, présentant une ou deux cellules marginales dressées ou carrées. Les rayons sont bisériés. Les rayons ligneux des espèces du sous-genre *Canella* sont plus grossiers et trisériés. Ils peuvent atteindre une trentaine de cellules de hauteur.

Des dépôts de résine rouge-brun dans les rayons sont observés mais ne sont pas spécifiques. Les cellules à huile sont associées avec les rayons et le parenchyme axial. Ils ont une forme plutôt allongée.

Les cristaux sont rares mais caractéristiques. Dans les espèces du sous-genre *Armeniaca*, de petits cristaux de taille variable sont présents dans les rayons ligneux. Aucune présence de silice n'a été notée. Il s'agit critère de diagnostic le plus pertinent.

3.4. Genre *Mezilaurus*

Les seules données disponibles concernent l'espèce *Mezilaurus itauba*. Le bois de cette espèce ne présente pas de cernes distincts. La densité de vaisseaux est de 8 à 26 par mm², en majorité isolés et présentant des thylles à paroi fine. Cependant, lors de l'observation de coupes de cette espèce sur la base Inside Wood, on peut noter que la moitié des coupes transversales présentaient des vaisseaux plutôt accolés par deux et par quatre (Figure 24). Le diamètre moyen des vaisseaux est de 120 µm (max. 190 µm) (Stern 1954; InsideWood 2004).

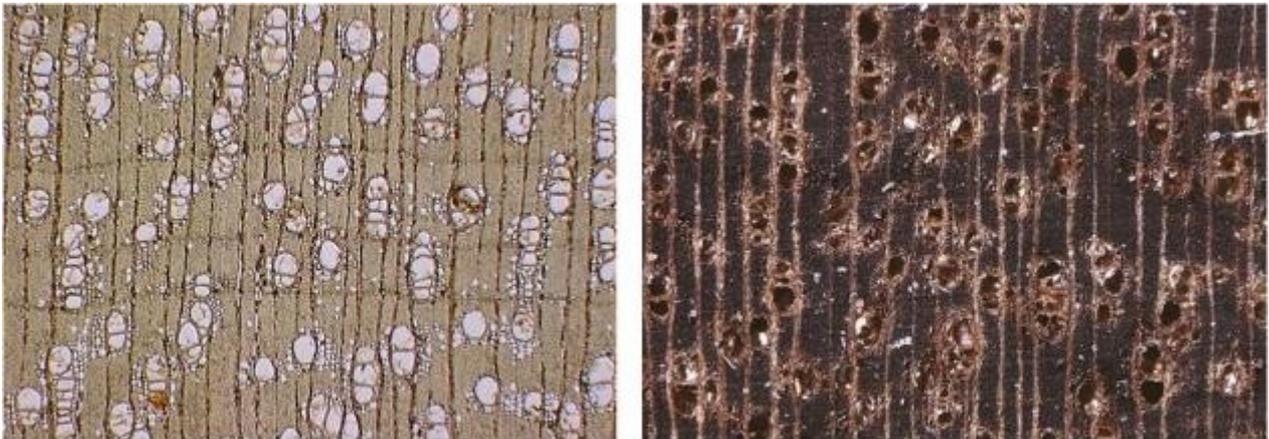


Figure 24: Coupes transversales de Mezilaurus itauba¹

Les fibres possèdent une paroi épaisse à très épaisse. La longueur moyenne des fibres est de 1600 µm. Elles sont parfois cloisonnées.

¹Source :Inside Wood Database (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/>)

Les ponctuations intervasculaires sont disposées en quinconce et de taille supérieure à 10 μm (14 μm), de forme circulaire à polygonale.

Les ponctuations de champ de croisement sont rondes ou anguleuses, groupées et larges supérieures à 20 μm

Les rayons ligneux sont hétérogènes, rarement unisériés et plus souvent multisériés, de hauteur 5 à 18 cellules. Ils sont répartis de 4 à 11 par millimètre. Les rayons sont hétérocellulaires avec une rangée de cellules terminales dressées ou carrées.

Le parenchyme axial est paratrachéal en manchons anastomosés et unilatéraux. Des files de parenchyme axial sont observées avec 2 à 8 cellules par file. Du parenchyme apotrachéal en bandes fines est aussi observé. Le parenchyme axial est souvent scléreux.

Les cellules à huile sont plus fréquentes dans le parenchyme axial que dans le parenchyme radial.

Des corpuscules siliceux se présentent dans les cellules couchées des rayons par alignement de 2 à 6 corpuscules, ceci est caractéristique du genre.

3.5. Genre *Ocotea*

Les bois traités ici sont les espèces : *O. dendrodaphne*, *O. globifera*, *O. nigra*, *O. guianensis*, *O. puberula*, *O. schomburgkiana* et *O. tomentella*. Ils sont de couleur grisâtre (Tortorelli 1956; Détienne et Jacquet 1983; Miller et Détienne 2001; InsideWood 2004).

Deux espèces présentent une odeur particulière : *O. nigra* et *O. puberula*. Les bois ont une densité de 0,4 à 0,75 g/cm^3 . *O. guianensis* peut présenter une densité encore plus basse.

Les limites de cernes sont indiscernables chez toutes ces espèces. Les bois présentent des pores diffus, à simple perforation. Les diamètres vont de 100 à 200 μm et leur densité varie de 5 à 20 vaisseaux par mm^2 pour la plupart des espèces, notons qu'*O. globifera* et *O. tomentella* peuvent parfois présenter moins de 5 vaisseaux par mm^2 . Les éléments de vaisseaux sont de taille moyenne. Toutes les espèces présentent des thylles à parois fines, à l'exception d'*O. dendrodaphne*, et *O. puberula*.

Les fibres ont une paroi fine à épaisse. Celles des bois d'*O. tomentella* est parfois très fine.

Les ponctuations intervasculaires sont en quinconce, polygonales, de taille moyenne (7 à 10 μm) chez *O. dendrodaphne*, larges (plus de 10 μm) chez *O. puberula* et *O. tomentella*, et de moyennes à larges dans le cas des autres espèces.

Les ponctuations de champs de croisement sont toujours rondes, élargies parfois palissadiques et déchirées, réduites parfois à la marge de la cellule.

Les fibres sont cloisonnées, ponctuées et moyennement longues.

Chez *O. guianensis* et *O. tomentella*, le parenchyme est très peu présent. Quand il l'est, il est associé aux vaisseaux en manchons incomplets. Il est vasicentrique pour toutes les autres espèces. Les files de parenchymes sont hautes de 3 à 8 cellules contre 3 à 4 pour les autres espèces étudiées.

Les rayons ligneux d'*O. dendrodaphne* sont larges puisque 4 à 10-sériés. Chez toutes les autres espèces ils semblent bisériés. Les quatre espèces présentent 4 à 12 rayons ligneux par millimètre. Ceux-ci sont hétérogènes, les cellules marginales sont dressées ou carrées. Les cellules marginales forment une ligne chez *O. dendrodaphne*, *O. nigra*, *O. puberula*, et *O. tomentella*. Dans le cas des autres espèces, les rayons ligneux présentent des cellules marginales en 1 à 4 lignes.

Des cellules à huile associées aux différents parenchymes ont été observées au sein de tous les bois.

De petits cristaux ont été observés chez *O. nigra* et des cristaux en forme de pics chez *O. guianensis*.

3.6. Genre *Rhodostemonodaphne*

Deux espèces sont essentiellement étudiées : *R. grandis* et *R. kunthiana* (Stern 1954; Détéienne et Jacquet 1983).

L'espèce la plus connue et étudiée est *R. grandis*. Les deux espèces ne présentent pas de limites de cernes distinctes. Les bois sont légers, de densités inférieures à 0,4 g/cm³ de couleur cuivrée. Les pores sont diffus, de 5 à 20 par mm². Leur diamètre va de 100 à 250 µm. La longueur des éléments de vaisseaux est moyenne à grande, de 350 à 900 µm. Les perforations sont simples et parfois scalariformes pour *R. kunthiana*. Les vaisseaux présentent des thyllés à parois fines.

Les ponctuations intervasculaires sont polygonales en quinconce et larges.

Les ponctuations de champ de croisement sont les mêmes que décrites pour les genres précédents (déchirées, oopores).

Les fibres sont septées, à paroi plus ou moins fines. Les ponctuations sont également distribuées sur les faces radiales et tangentielles.

Les rayons ligneux sont hétérogènes de type II¹, soit unisériés (1 à 6 cellules de haut) soit bi et trisériés (6 à 34 cellules de haut) chez *R. kunthiana*. Le même type de rayons existe chez *R. grandis*, sans informations sur la hauteur des rayons. Ils présentent des cellules marginales carrées ou dressées en plusieurs lignes (2 à 4). Ils sont répartis de 4 à 12 par millimètre.

Le parenchyme axial est vasicentrique. Il est organisé en files de 3 à 8 cellules.

¹ Type II défini p. 6 Figure 16

Les cellules à huile et à mucilage sont associées avec le parenchyme radial et axial et sont retrouvées dans les fibres.

Notons, chez *R. grandis*, la présence de cristaux styloïdes.

3.7. Genre *Sextonia*

Ce genre contient une espèce, *S. rubra* qui a été séparée du genre *Ocotea* en 1997 (Werff 1997).

L'arbre est facilement reconnaissable sur pied par la couleur de son écorce qui se desquame en grande plaque, son bois est rougeâtre. Les études montrent que ce bois ne présente pas de cernes d'accroissement, il est à pores diffus et à aubier différencié. Sa densité est moyenne, de 0,4 à 0,75 g/cm³. Les vaisseaux présentent des perforations simples. Le diamètre tangentiel des vaisseaux est de 100 à plus de 200 µm, présentant de 5 à 20 vaisseaux par mm². Les éléments de vaisseaux sont de taille moyenne à grande (350 à 800 µm). Les thylles sont fréquemment observés (Miller and Détienne 2001; InsideWood 2004).

Les ponctuations intervasculaires sont polygonales, alternées et de diamètre supérieur à 10 µm.

Les ponctuations de champ de croisement sont du type déjà rencontré dans les genres précédents (déchirées, oopores).

Les fibres sont cloisonnées, à paroi fine à épaisse, de longueur moyenne à grande (900 à plus de 1600 µm).

Ce bois présente un parenchyme apotrachéal diffus, mais aussi un parenchyme paratrachéal aliforme en losange confluent parfois. Des files de parenchyme de 3 à 8 cellules sont observées.

Les rayons sont bisériés exclusivement, hétérogènes de type II, présentant une rangée de cellules marginales carrées ou dressées. Leur répartition est de 4 à 12 par mm.

Les cellules à huile et à mucilage, de taille assez grande sont associées au parenchyme et sont présentes dans les fibres. Elles sont très abondantes en chaînes verticales de 2 à 6 voire 8 cellules.

3.8. Cristaux et silice

Plus de la moitié des 750 espèces de Lauracées étudiées présentent des cristaux et 20 % des corps siliceux. Ce dernier caractère, de par sa rareté, représente une aide à la détermination (Richter 1980).

3.8.a. Cristaux

Les cristaux quand ils sont présents ne sont pas contenus dans des cellules particulières. Dans la plupart des cas, ils se présentent dans le parenchyme radial et dans 10% des cas, dans le parenchyme axial. Dans ce dernier cas, il s’agit d’espèces dont les rayons ligneux sont très chargés en cristaux. La plupart des cristaux sont des cristaux d’oxalate de calcium et peuvent être au nombre de 1 à 100 par cellule, généralement à 6 ou 8 arrêtes, ils sont rarement solitaires.

Le Tableau 1 résume le type de cristaux rencontrés au sein des genres. Pour les genres retrouvés en Guyane, les cristaux de type A existent chez toutes les espèces des genres *Cryptocarya* (10 – 30 µm), chez *Rhodostemonodaphne grandis* et chez quelques espèces d’*Aniba* (40 – 70 µm). Les cristaux de type C sont observés chez de nombreuses *Endlicheria* et chez quelques *Aiouea* et *Licaria*. Les cristaux de type tablétoïdes (E) sont typiques des espèces du genre *Aniba* et sont aussi observés chez certaines espèces d’*Endlicheria* et de *Nectandra*. Notons que des masses cristallines (G) sont présentes dans les fibres d’*Ocotea patalanthera* et d’une *Licaria*. *Aniba affinis* présente des cristaux tablétoïdes dans les cellules de rayon, à raison de 1 à 2 cristaux par cellule. Les cristaux de type B, D et F ont été répertoriés au sein d’espèces jamais récoltées en Guyane.

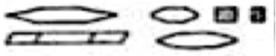
TYPE	DESCRIPTION	FORME	OCCURRENCE
A	isodiamétriques, prismatiques, allongés		<i>Actinodaphne, Endlicheria, Persea, Cryptocarya, Ravensara, Phoebe</i> . Autres: cristaux en réseaux: <i>Aniba, Nectandra</i>
B	en aiguillon		<i>Listea chinensis, Nectandra lucidula</i>
C	fuisformes		<i>Lindera, Actinodaphne, Aiouea, Endlicheria, Licaria</i>
D	styloïdes		<i>Aniba, Endlicheria, Nectandra</i>
E	tablétoïdes		<i>Ocotea suaveolens, Nectandra sanguinea, Apollonia canariensis</i>
F	pyramidaux		<i>Cartodaphnopsis tonkigensis</i>
G	masses cristallines		<i>Dehasia, Ocotea, Licaria</i>

Tableau 1 : Cristaux présents dans la famille des Lauracées

3.8.b. Corpuscules siliceux

La silice observée chez les Lauracées est peu dense, et un seul grain de silice est observé par cellule. Les corpuscules sont trouvés de façon permanente dans les rayons et jamais dans les fibres. Une exception est à noter pour l’espèce d’*Ocotea splendens* qui présente de la silice dans ses fibres. Le genre *Mezilaurus* présente des chaînes de 2 à 5 cellules de parenchyme axial contenant des grains de silice.

Les différents types de grains de silice ont été classifiés dans le Tableau 2. Le type C, agrégats siliceux est le plus commun. Il est retrouvé de façon systématique chez les espèces du genre *Beilschmiedia* (ex. *B. micrantha*). *Endlicheria krukovii* et les *Beilschmiedia* sud-américaines présentent des grains très petits de type A. Des grains plus grossiers, de type B, sont présents dans les rayons de *Mezilaurus* et de *Licaria wilheminsis* ainsi qu'*O. splendens* citée précédemment.

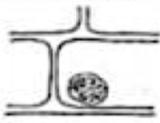
TYPE	DESCRIPTION	FORME	OCCURRENCE
A	petits grains polis (5-12 μm)		<i>Litsea, Endlicheria, Beilschmiedia</i> sud-américaines
B	grains bruts res. à chou-fleur (8-35 μm)		<i>dans les rayons: Licaria whileminensis (a) - Mezilaurus (b) - Beilschmiedia (b)</i> <i>dans les fibres: Nothaphoebe (c) - Ocotea splendens (c)</i>
C	fuisformes		<i>Lindera, Actinodaphne, Aiouea, Endlicheria, Licaria</i>

Tableau 2 : Corpuscules siliceux de la famille des Lauracées

3.9. Récapitulatif

Les caractéristiques des genres précédemment cités peuvent être résumées à l'aide du Tableau 3 dans lequel sont résumés les données provenant de la bibliographie.

	<i>Aniba</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Licaria</i>	<i>Mezifaurus</i>
Couleur	jaune - olivâtre	grisâtre - marron	marron	marron - jaune
Densité	0,5 à 1,3	0,4 à 0,6	0,65 à 1,25	moyenne
Odeur	terpénique, forte	pas d'odeur	moyennement forte	absence
Diamètre des vaisseaux	100 - 210 µm	100 µm	70 - 150 µm	120 µm
Diamètre des ponctuations intervasculaires	9 - 11 µm	> 11 µm	7 - 12 µm	10 - 14 µm
Thylles	fins (scléreux parfois)	rare, fins	fins à scléreux	fins
Parenchyme	paratrachéal en manchons incomplets (apotrachéal en fines lignes en limite de cernes)	indistinct	paratrachéal en manchons incomplets (apotrachéal en fines lignes en limite de cernes)	en manchons anastomosés entre pores, unilatéral - apotrachéal en lignes fines en fin de cerne
Cristaux	tabloïdes et styloïdes	absence	rare, petits	absence
Silice	absence	absence	absence	oui, 2 à 6 par poche
Cellules sécrétrices	cellules à huile associées au parenchyme axial et radial	cellules à mucilage et à huile	cellules à huile associées au parenchyme radial majoritairement	cellules à huile associées au parenchyme axial

	<i>Ocotea</i>	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>Sextonia</i>
Couleur	grisâtre - marron	cuivré	rougeâtre - marron
Densité	0,4 à 0,75	0,5 à 0,6	0,75
Odeur	variable	-	spécifique
Diamètre des vaisseaux	100 - 200 µm	110 - 250 µm	100
Diamètre des ponctuations intervasculaires	7 - 10 µm	> 10 µm	> 10 µm
Thylles	fins	fins	fins
Parenchyme	peu présent - en manchons incomplets	en manchons incomplets	paratrachéal en manchons confluent à tendance aliforme - apotrachéal diffus
Cristaux	rare	absence	absence
Silice	absence	absence	absence
Cellules sécrétrices	cellules à huile associées au parenchyme radial majoritairement	cellules à huile associées au parenchyme radial majoritairement	cellules sécrétrices associées au parenchyme radial majoritairement

Tableau 3 : Synthèse des critères clé de discrimination des genres chez les Lauracées selon la bibliographie

II. Matériels

1. Prélèvements

Des prélèvements par carottage avaient été essayés au début de la thèse mais ont donné des échantillons fendus, trop petits pour l'observation. Le parti a donc été pris de baser les observations sur les bois de la Xylothèque identifiés de façon certaine et sur les bois destinés à la distillation provenant de récoltes effectuées sur la route de l'Est. Au total, une trentaine d'arbres a été étudiée, mais une vingtaine sera exploitée car il reste des identifications non déterminées.

Ces arbres appartiennent à 11 espèces et à 4 genres : *Aniba panurensis*, *Aniba taubertiana*, *Aniba rosaeodora*, *Endlicheria bracteolata*, *Licaria martiniana*, *Ocotea cinerea*, *Ocotea percurrans*, *Ocotea subterminalis*, *Rhodostemonodaphne grandis*.

2. Appareillage

Les observations microscopiques en épiscopie sont effectuées sans préparation spéciale de l'échantillon. L'avantage de ce type d'observations permet un gain de temps mais aussi d'observer le contenu cellulaire, les couleurs des huiles et des dépôts. Les appareils utilisés pour les analyses microscopiques sont:

- Keyhence VHX-500 F, microscope confocal (grossissement jusqu'à 200 fois)
- Keyhence VK-9700, microscope confocal à laser (grossissement jusqu'à 18.000 fois)
- Olympus BX60, microscope optique à transmission (UV, objectif à immersion dans l'huile)

Les deux premiers appareils permettent de bonnes observations en épiscopie. De façon plus épisodique, le FEI Quanta 250, microscope électronique à balaye a été utilisé.

3. Méthodologie

Au laboratoire, les bois verts sont débités selon les plans ligneux (transversal, radial et tangentiel), en plaquettes de dimensions standard pour la Xylothèque puis trois échantillons pris dans le duramen sont récupérés par fendage. Les observations sont basées sur ces trois cubes de 10x10x10 mm.

3.1. Observations macroscopiques

Au préalable, la texture, la couleur, la densité et l'odeur du bois ont été observées. Sur le terrain, l'écorce de la grume ainsi que l'aspect de son entaille ont été décrits.

3.2. Observations microscopiques et mesures

Les observations ont été effectuées selon les prescriptions classiques à l'anatomie du bois et suivant la disponibilité du matériel. Trois cubes de bois par arbre pris dans le duramen ont été observés. Toute l'anatomie des bois a été décrite selon la liste de caractéristiques IAWA (IAWA, 2004).

Afin que les mesures prises sur l'échantillon étudié soient significatives, les prescriptions pour l'observation d'un matériel réduit décrites dans le Tome 1 du Manuel d'identification des bois commerciaux (Normand 1972) ont été suivies.

3.3. Préparation de coupes minces

Dès que cela fut nécessaire, des coupes microtomées et colorées de 10 µm d'épaisseur ont été effectuées. Par exemple, lorsqu'il s'est avéré impossible d'observer proprement les rayons ligneux en épiscopie ou encore lorsque la présence de cristaux était soupçonnée. En effet, la présence de cristaux ne peut se mettre en évidence que par microscopie à transmission en soumettant l'échantillon à de la lumière polarisée. Le numéro de l'arbre et le numéro de l'espèce sont inscrits sur ces coupes.

La coloration des coupes a été effectuée selon un protocole mis en place au laboratoire. La difficulté a surtout résidé lors de la coupe du bois. En effet, beaucoup de bois de Lauracées sont très denses et même après une nuit à bouillir ils restent encore impossibles à trancher dans le sens transversal.

Le protocole de coloration comprenant des passages dans des bains successifs, est le suivant: Javel : 30'' à 1' → Ethanol (95%) : 30'' → Safranine : 20' → Ethanol (95%) : 5' → Fast green : 10' → Ethanol (95%) : 2' → Acétone ou Clearène : 30'' → Eukitt : 1 goutte sur la coupe. Il est illustré Figure 25.



Figure 25: Bains de coloration successifs pour la préparation de lames histologiques

Le protocole d'observation et de préparation des échantillons, peut être résumé comme suit, Figure 26.

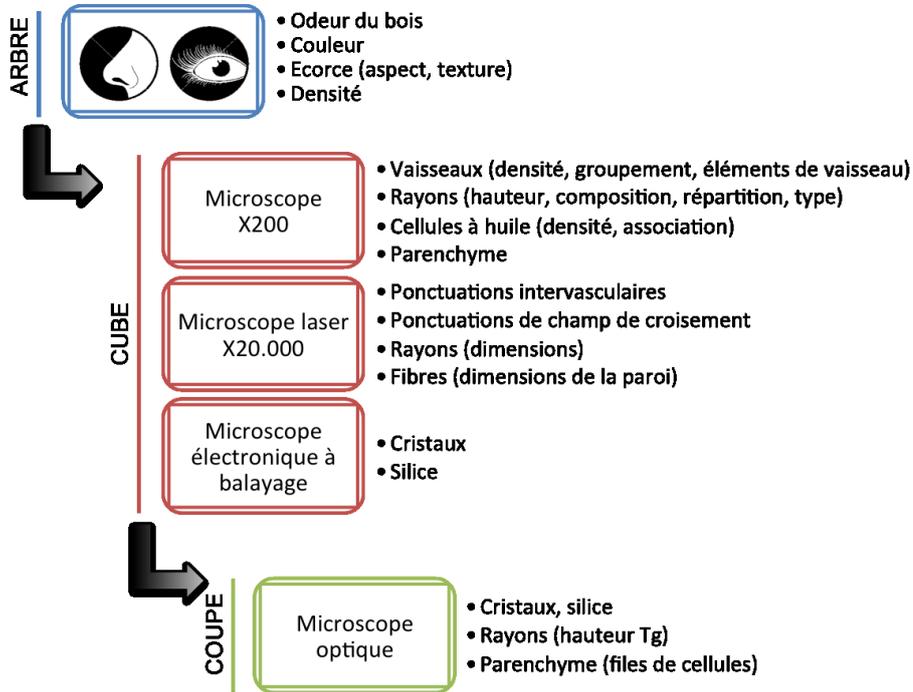


Figure 26: Protocole d'observation en anatomie

III. Méthodes d'analyse

1. Observations, tri des données

Etant donné le peu d'échantillons par espèce, notre recherche des critères pertinents se résume à ceux qui permettent de déterminer le genre. Nous nous intéressons aux distances entre genres et aux critères permettant de les discriminer.

Dans un premier temps, seuls les critères IAWA figurant sur la ModernWood DataSheet (IAWA, 2004) ont été observés et les valeurs numériques moyennes ont été notées. Puis, du fait de la très grande disparité de densité entre les différents échantillons de *Licaria cannella* d'identification certaine, les épaisseurs de paroi fibreuses et les coefficients de souplesse ont été mesurés.

Etant donné que nous nous intéressons aux Lauracées pour leurs huiles essentielles, il est important de mettre l'accent sur les cellules à huile qui contiennent celles-ci. C'est pourquoi, les tailles, densité et associations des cellules à huile ont aussi été observées. Au total, six critères ont été ajoutés à la liste des critères IAWA,

A l'issue de ces observations, tous les critères possédant la mention P (présent) au moins une fois ont été triés et examinés. Il est apparu qu'il fallait faire de nouvelles classes pour chaque critère afin qu'elles soient plus adaptées aux Lauracées et qu'on dispose d'un tableau avec des

classes plus fines, des sous-classes et des données de présence/absence et non pas des données mixtes. Les critères classiquement forts lors de l'identification anatomique des bois paraissent d'importance moyenne voire faible au sein de la famille des Lauracées.

Afin d'effectuer une analyse complète, au tableau d'analyse et de mesures, ont été rajoutées les données de la bibliographie provenant de nombreuses études et de la base Insidewood. Pour pouvoir exploiter ces données de provenance différentes, les critères anatomiques choisis ont été les critères classiques IAWA. En effet, dans la bibliographie, la densité, taille des cellules à huile, la taille de la paroi, ne figurent jamais. De plus, la comparaison de nos données avec celles de la bibliographie en utilisant les nouveaux critères détaillés a montré deux groupes correspondant aux deux sources de données, ce qui n'a pas été le cas lors de l'analyse des critères classiques de la bibliographie.

2. Analyses et outils statistiques

Afin de déterminer les critères pertinents pour identifier les Lauracées au genre, des outils statistiques ont été employés. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel PAST (PALaeontological STATistics (Clarke 1993)). Ce type d'analyse sera repris dans la partie chimie.

Deux matrices ont été établies : une matrice binaire (« BINAIRE ») indiquant la présence ou absence des caractères (67 colonnes) et une matrice de données nominales et ordinales (« CLASSES ») contenant des classes de critères (29 colonnes). La correspondance entre les critères et les classes figure en Annexe 4. Les individus sont regroupés en groupes grâce à un code couleur.

La première étape consiste en la visualisation du regroupement des individus par genre, à l'aide d'une analyse non-métrique multidimensionnelle. Puis, il s'agit de déterminer les critères ayant le plus grand poids dans la différence entre groupes et de tester le poids et la part de ces critères dans l'identification.

2.1. Analyse non-métrique multidimensionnelle (NMDS : Non – metric MultiDimensional Scaling)

Cette analyse permet de visualiser sur un plan le regroupement des genres. La distance/similarité entre individus est calculée par des indices statistiques adaptés aux types de données. Elle permet d'obtenir une représentation en 2 ou 3 dimensions, des distances entre les individus, à partir d'une matrice de distance entre ces derniers. Le type de distance est choisi en fonction de la forme des données (binaires, abondance, classes).

Pour les données binaires, l'indice de Dice-Sorensen est choisi. C'est un indice de similarité permettant de donner plus de poids aux similarités qu'aux différences. La distance est calculée entre deux lignes en comptant la somme des présences conjointes d'un critère chez les deux individus.

Pour des données nominales, l'indice de Hamming est utilisé. Il s'agit de l'équivalent de la p-distance utilisée par les généticiens. Les colonnes sont codées par des catégories. La distance de Hamming est une distance permettant de prendre en compte le nombre de différence et cette distance est ici normalisée. Il s'agit donc de la proportion de colonnes différentes entre deux lignes.

Les distances entre les données ordinales sont mesurées par l'indice de Gower. Cette distance moyenne les différences sur le nombre total de variables, chaque terme étant normalisé par son rang.

Le détail de calcul de ces indices est indiqué dans le Tableau 4.

Indice	Données	Formule	
Dice-Sorensen	Binaires	$d_{xy} = \frac{2M}{N + 2M}$	M: nombre d'occurrences conjointes de présences N: nombre total de colonnes
Hamming	Nominales	$d_{xy} = \frac{\sum_i |x_i \oplus y_i|}{N}$	N: nombre total de colonnes
Gower	Ordinales	$d_{jk} = \frac{1}{n} \sum_i \frac{|x_{ji} - x_{ki}|}{\max_s x_{si} - \min_s x_{si}}$	

Tableau 4 : Indices utilisés dans l'analyse NMDS

La première étape a été de choisir lequel des deux jeux de données, binaires ou nominales/ordinales, est le plus adapté à la recherche de caractères clés dans la séparation des genres.

L'analyse par critères codés en classes nominales ou ordinales permet de donner un poids égal à chaque critère pouvant être codé en classes. En effet, le nombre de classes dans un critère ne va pas influencer son importance, seule va compter sa valeur (classe 1, 2 ou n) dans l'analyse. Un critère peut avoir une valeur décimale, par exemple, un critère codé 2,5 indique qu'il appartient à la classe 2 et à la classe 3.

Les données manquantes sont dans un premier temps codées par -1, puis ne sachant pas clairement si le logiciel prend en compte les données manquantes, les -1 ont été remplacés par la moyenne du genre, ce qui a rapproché les espèces appartenant aux mêmes genres.

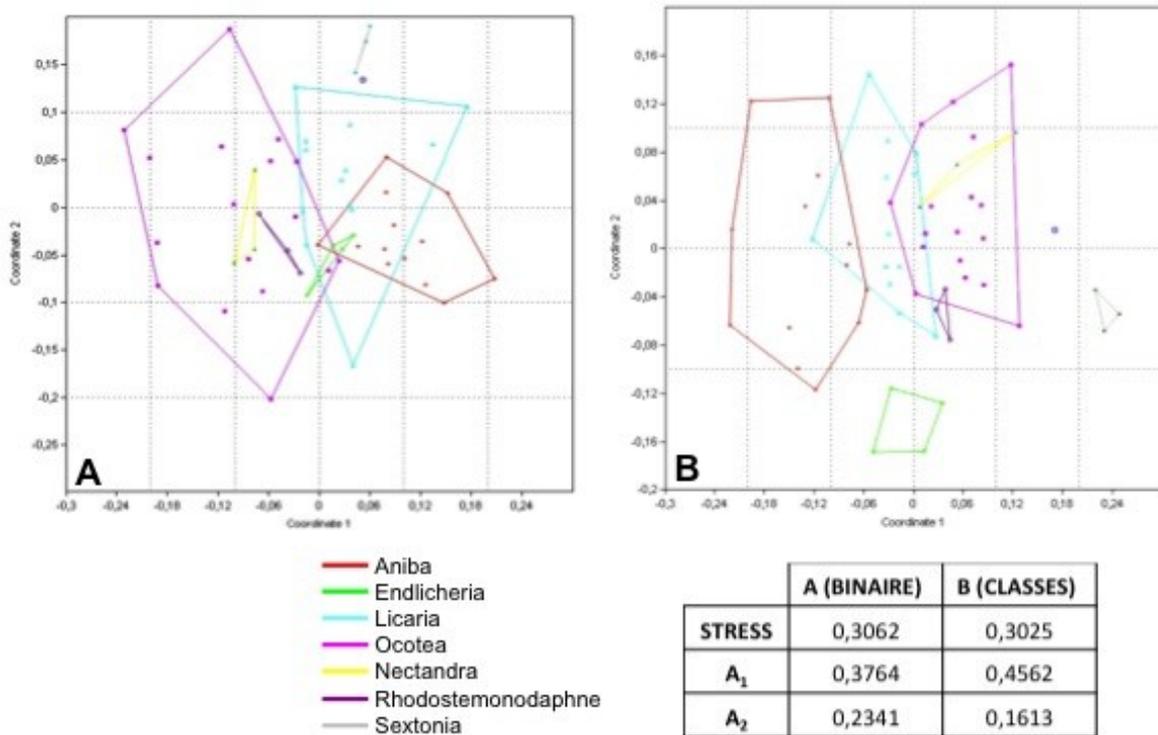


Figure 27: Analyse MDS non-métrique sur des données binaires (A) et mixtes (B)

Sur la Figure 27, une couleur correspond à un genre. Le Stress indique la fidélité de la représentation. Au-dessus de 0,5, cela indique une représentation aléatoire, entre 0,5 et 0,25 la représentation est médiocre. Entre 0,1 et 0,25 elle est considérée comme satisfaisante et excellente en dessous de 0,1.

Les valeurs du stress ainsi que les corrélations (R^2) sur l'axe 1 et 2 (A_1 et A_2) sont indiquées dans le tableau sous les graphiques. L'analyse B correspondant aux classes mixtes (données ordinales, nominales et binaires) permet de mieux discriminer les genres malgré un stress élevé, les genres sont mieux séparés sur le graphique B que sur le A. Quand bien même les axes A_1 et A_2 ne permettent d'expliquer que 60% des différences entre les groupes, cela prouve qu'il est donc plus judicieux de travailler avec les données sous forme de classes.

Les espèces mal classées sont les suivantes :

- *Licaria cannella* (R26) sur *Aniba*
- *Nectandra* compris dans *Ocotea*
- *Ocotea subterminalis* (R2), *Ocotea splendens*, *Licaria cannella* (R26) et *Licaria subbullata* (BIB)
- *Rhodostemonodaphne grandis* (BIB) dans *Ocotea*

Il reste à identifier les informations les plus pertinentes dans la séparation des genres.

2.2. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP permet de réduire un jeu de données dépendant de plusieurs critères à un espace de dimensions réduites (idéalement en 2 dimensions). Il s'agit en fait d'un résumé pertinent des données initiales importantes. Cette analyse se fait à partir de la matrice des corrélations dont sont extraits les facteurs expliquant le maximum de différence entre les populations considérées. Ces facteurs (composantes principales) sont composés des observations effectuées et permettent de représenter graphiquement dans un espace de petite dimension, les données en respectant au mieux le jeu de données qui sert au calcul. Les composantes principales sont classées par ordre décroissant d'explication de la variance. En étudiant ces facteurs, il est possible de déterminer la part des critères d'observation dans chacun d'eux.

Cette analyse est utilisée, au même titre que le SIMPER (cf. 2.3) pour retrouver quelles sont les caractéristiques les plus importantes dans la différence entre individus. L'analyse en composantes principales est menée sur le tableau « CLASSES » transposé dans un premier temps. Puis, elle sera effectuée sur le tableau « CLASSES » normal.

2.3. Analyse en permutations simples (SIMPER)

L'analyse SIMPER (SIMilarity PERcentage) est une méthode simple permettant dans notre cas d'évaluer les caractères majoritairement responsables des distances entre genres et de quantifier leur part dans la différence (Clarke 1993). Ces critères sont hiérarchisés et l'analyse donne un tableau dont l'extrait figure dans le Tableau 5. Dans la première colonne, figurent les critères, dans la deuxième, la part du caractère à la différence, le pourcentage cumulé de variance expliquée, la valeur moyenne du caractère considéré au sein de chaque genre (groupe).

Paramètre	Contribution	% Var. cum.	<i>Aniba</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Licaria</i>	<i>Ocotea</i>
OTHER_CRYSTALS	2,515	16,97	3	4,69	0	4
HEART_COLOUR	1,286	25,65	2,27	2,38	2,11	3
OIL_MUC_CELLS	1,256	34,12	2,75	2,28	1,83	1,5
TYLOSES/DEPOSITS	0,8833	40,08	0,208	0	1,72	0
AXIAL_PAR.	0,6426	44,41	1,96	1,72	1,67	2,5
#CELL/PAR._STRAND	0,6005	48,47	2,92	2,31	2,61	2,5
APO._PAR.	0,5949	52,48	1,08	1	1,61	1
F_WALL	0,5893	56,46	2,71	1,81	2,11	3

Tableau 5 : Extrait de l'analyse SIMPER entre les genres étudiés

Lors de l'ACP, les composantes principales qui ont une signification dans la variance sont celles qui représentent plus de 88% de la variance. Les critères qui représentent 88% de la variance cumulée dans l'analyse SIMPER sont réinjectés dans la NMDS afin d'observer s'ils suffisent à séparer les genres. Si c'est le cas, la significativité de la différence est étudiée par une analyse ANOSIM ou un NPMANOVA.

Une ANOSIM (ANalysis Of SIMilarities) permet de déterminer si la différence entre groupes est significative. Cette analyse est prise en compte avec la correction de Bonferroni qui permet qu'au bout d'un nombre n d'itérations du test, les valeurs s'écartant grandement de la moyenne n'influencent pas le test. Cette analyse est identique à une NPMANOVA (Non-Parametric ANalysis Of Variance), sur des données non normales. Ces analyses se basent sur les distances imputées ici, Hamming et Gower, selon le type de variable. La correction de Bonferroni est appliquée.

La méthodologie permettant d'identifier les critères caractéristiques des genres est la suivante : Analyse NMDS et ACP pour visualiser les données, puis SIMPER pour identifier les critères responsables de 88% de la variabilité. Seuls ces critères réutilisés pour une nouvelle NMDS puis, la significativité de la différence est étudiée par ANOSIM ou NPMANOVA avec correction de Bonferroni. Cette batterie d'analyses amène à une liste réduite de critères expliquant de façon significative la variance entre les genres.

IV. Résultats

1. Description anatomique des bois

Les descriptions des bois étudiés dans cette partie sont illustrées en fin de partie par des planches contacts résumant les caractéristiques significatives de chaque espèce.

Lorsque plusieurs échantillons au sein d'une espèce ont été étudiés, nous donnerons les valeurs moyennes des éléments mesurés au sein de chaque individu suivies entre parenthèses par les valeurs extrêmes (min – max) ou de la façon suivante ((max) – moyenne1 – moyenne 2 – (min)).

1.1. *Aniba panurensis*

Un seul échantillon a été observé (RR-L-115). Le bois est jaune, marron pâle, très odorant à aubier différencié. La maillure est grossière, le fil droit. Les fibres sont très resserrées mais le lumen est visible à un faible grossissement. Les pores sont fins, diffus et la porosité apparente à la loupe binoculaire. Le bois est moyennement dur, léger à lourd ($d=0,6$). Les cernes sont distincts à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière et sont majoritairement isolés et quelques fois accolés par 2 ou 4, 8 vaisseaux par mm^2 (6-9). Leur diamètre tangentiel moyen est de 90 – 100 μm (47 – 141). La longueur moyenne des éléments de vaisseaux est de 290 μm (234 – 315). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont grosses, avec une grosse ouverture, alternées, très resserrées et parfois polygonales, diamètre moyen de 10 μm (9,1–11,5). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, en grilles horizontales ou verticales, 3 ou plus par champ de croisement. Les vaisseaux sont parfois (rarement) bouchés par des thylls à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi moyennement épaisse de 4 μm (3,6 – 4,4).

Quelques cellules de parenchyme paratrachéal éparses sont disposées autour des vaisseaux, en séries verticales de 3 à 4 cellules.

Les rayons ligneux sont hétérogènes de type I avec 1 (parfois 2) rangée(s) de cellules terminales dressées ou carrées, et plus rarement, hétérogènes avec tous types de cellules dressées et allongées mélangées, ils sont bisériés. Leur répartition est de 5 rayons par mm, leur hauteur est comprise entre 150 et 830 μm , soit 7 à 25 cellules de haut.

Les cellules à huile sont de deux formes : en goutte d'eau et en tonneau. Elles sont nombreuses (9/mm²), de diamètre moyen de 70 μm , de largeur moyenne 70 μm et de hauteur 115 μm environ, associées aux rayons ligneux et au parenchyme axial.

1.2. *Aniba taubertiana*

Deux échantillons ont été récoltés (RR-L-099 et RR-L-123). Le bois montre un aubier différencié et un duramen de couleur jaune à marron clair, dégageant une odeur intense typique des Lauracées. La maillure est grossière, le fil droit. Les fibres sont très resserrées mais le lumen est à un faible grossissement. Les pores sont fins, diffus et la porosité apparente à la loupe binoculaire. Le bois est moyennement dur et lourd de densité 0,78 g/cm³. Les cernes sont distincts à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière et sont majoritairement isolés ou accolés par 2, on observe 12 et 13 vaisseaux par mm², diamètre tangentiel moyen de 90 – 100 μm (78 – 128). Les éléments de vaisseaux font en moyenne 487 et 450 (310 – 571) μm . Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, et rondes, de diamètre moyen 10 et 8,9 μm (7,7 – 10,9). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, horizontales, grandes, allongées. Elles sont au nombre de 3 à 5 par champ de croisement. Les vaisseaux sont parfois bouchés par des thylls à parois fines.

Les fibres sont cloisonnées. Elles possèdent une paroi moyennement épaisse de 3,9 et 4,9 μm (3,2 – 5,8).

Notons la présence de parenchyme paratrachéal en manchons souvent incomplets (1 à 2 cellules), en séries verticales de 3 à 8 cellules.

Les rayons ligneux sont sub-homogènes avec 1 à 3 rangées de cellules (hétérogènes de type I et II) terminales dressées ou carrées, à hétérogènes de type III avec tous types de cellules dressées et allongées mélangées. Ils sont majoritairement bisériés avec présence très rare de rayons unisériés. Leur répartition est de 7 et 5 rayons par mm, de hauteur 627 et 540 μm (257 – 804, soit 5 à 32 cellules de haut). Tous les rayons sont sensiblement de même taille, à l'exception des unisériés. Certaines cellules dressées ou allongées, présentent des contenus colorés.

Des cristaux de type tablétoïdes et rhomboédriques sont observés, ainsi que des petits cristaux dans les cellules allongées de parenchyme radial, contenant seulement 1 cristal par cellule.

Les cellules à huile sont moyennement nombreuses (10/mm² et 16/mm²), en forme de goutte d'huile. Leurs diamètres¹ sont en moyenne de 30*40 µm, de largeur en coupe radiale 65 µm, de hauteur 160 µm. Elles sont associées aux rayons ligneux et au parenchyme axial.

1.3. *Endlicheria bracteolata*

Un seul échantillon a été récolté (RR-L-104). Le bois est blanchâtre, peu odorant, mucilagineux, à aubier différencié. Une fois humide, le bois est gluant. La maillure est grossière, beige, le fil droit. Les pores sont fins, diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Le bois est léger. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière, sont à parts égales isolés, accolés par 2 ou par 3, 12 vaisseaux par mm² (9 – 16), diamètre tangentiel moyen de 120 µm (89 – 146). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 558 µm (217 – 838). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, rondes, de diamètre moyen de 7,4 µm (6,8 – 8,1). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées ou circulaires, 2 à 3 par champ de croisement. Les vaisseaux sont obstrués par des thylls à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés. Les extrémités des vaisseaux sont souvent angulaires.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi moyennement mince de 2,4 µm (1,8 – 3,6) avec un grand lumen (12 µm).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en manchons discontinus d'une cellule de large, en séries verticales de 3 à 8 cellules.

Les rayons ligneux sont sub-homogènes (hétérogènes de type I) avec 1 rangée de cellules terminales dressées ou carrées, ils sont fins, unisériés et bisériés. Leur répartition est de 6 rayons par mm (5 – 9), de hauteur moyenne 520 µm (125 à 1100 µm soit 3 à 42 cellules de haut). Les tailles des rayons sont diverses.

De très nombreuses cellules à mucilage et à huile sont observées (33/mm²), dans les fibres et les parenchymes en amas. Ces cellules ont une forme allongée en goutte d'eau. Leurs diamètres en coupe transversale sont de 55 µm*34 µm, leur largeur moyenne en coupe radiale de 50 µm et leur hauteur de 20 µm. Une couche G² est observée dans les cellules à mucilage.

¹ Diamètre en coupe transversale : La cellule à huile a souvent une forme elliptique, on donne donc la taille du petit diamètre et la taille du grand diamètre

² Couche G : Couche gélatineuse formée de polysaccharides

1.4. *Licaria cannella*

Cinq échantillons ont été observés au vu de la diversité en densité et couleur des *Licaria cannella* récemment révisés de la Xylothèque (PSN 50, RR-L-122, RR-X-0094, RR-X-0220, RR-X-1498). Cette espèce est botaniquement très variable. Deux types de *L. cannella* ont été observés, ceux possédant un parenchyme abondant et anastomosé entre vaisseaux (X – 1498, PSN 50), et les autres, à parenchyme en manchons incomplets.

Le bois est très odorant à aubier différencié de couleur jaune – marron avec des veines foncées (X – 094, PSN 50, L – 122), marron (X – 1498) à marron foncé (X – 220). Le grain est fin. La maillure est bien visible, plutôt marron, le fil droit. Les fibres sont très resserrées. Les pores sont fins, diffus. Le bois est dur voire très dur (X – 220), moyennement lourd à lourd (X – 220, X - 1498, L – 122). Les cernes sont distincts à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière, sont isolés ou accolés par 2 voire 3. Les densités de vaisseaux sont variables 5/mm² (X – 094), 6/mm² (PSN 50, X – 220), 7/mm² (L – 122), 9/mm² (X – 1498). Le diamètre tangentiel moyen de 141 µm (resp. 160, **91**, 137, 140 et **175**). En gras sont indiquées les valeurs extrémales. Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 308 µm (390, **147**, 250, **405**, 348). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, rondes (L – 122, X – 220) ou polygonales (PSN 50, X – 094, X – 1498), de diamètre moyen de 10,8 µm (**12,2 – 8** - 11,6 – 11 – 10,9). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt circulaires avec 2 à 3 par champ de croisement. Les vaisseaux sont très souvent obstrués par des thylls à paroi fine ou épaisse (X – 220, X – 1498).

Les fibres sont très resserrées, parfois déformées en coupe transversales. Les fibres sont cloisonnées, à paroi épaisse de 6 µm environ (6,3 - 5,7 - 4,7 - 6,5 - 7,2) et un lumen très fin (1,4 µm en moyenne).

Pas de parenchyme apotrachéal observé. Deux types de parenchyme paratrachéal sont observés : des cellules de parenchymes éparses accolées aux vaisseaux (X – 094, X – 220), du parenchyme légèrement aliforme (L – 122), et du parenchyme en manchons d'une à 4 cellules de large parfois complets anastomosé entre vaisseaux (PSN 50, X – 1498). Le parenchyme paratrachéal en manchons discontinus a une largeur d'une cellule et est disposé en séries verticales de 3 à plus de 8 cellules (sauf chez R – 122, 3 à 8 cellules).

Les rayons ligneux sont hétérogènes de type II avec 1 à 2 rangées (L – 122, X – 094, X – 1498) ou 1 à 3 rangées (PSN 50, X – 220) de cellules terminales dressées ou carrées, présence de quelques rayons hétérogènes (L – 122, PSN 50). Ils sont plutôt larges, uni ou bisériés (L – 122), ou bisériés avec quelques rayons trisériés. Leur répartition est de 6 à 7 rayons par mm (**8 – 6 – 7 – 7 – 5**), de hauteur moyenne 486 µm (430 – 440 – 485 – 647 – 427) soit 7 à 41 cellules de haut. L'échantillon X – 094 montre deux tailles distinctes de rayons ligneux.

Les cellules à huile sont parfois peu nombreuses à nombreuses : de 4 à 28 cellules par mm² soit en moyenne 11/mm². Elles ont une forme de goutte d'eau ou de tonneau et sont présentes dans les fibres et les parenchymes, en groupes ou isolées. Elles sont soit très grosses (diamètres et largeurs moyennes 55 µm, hauteur 210 µm), soit de taille moyenne (en coupe transversale 25 µm*40 µm, largeur 60 µm, hauteur 130 µm).

1.5. *Licaria martiniana*

Un échantillon a été récolté (RR-L-118). Le bois est marron clair à blanchâtre, odorant et montre un aubier différencié. La maillure est grossière, marron clair, le fil droit. Les pores sont fins, diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Le bois est de densité moyenne. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux sont, à parts égales, isolés majoritairement ou accolés par 2, 8 vaisseaux par mm² (7 – 10). Leur diamètre tangentiel moyen est de 139 µm (92 – 190). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 458 µm (293 – 770). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, de forme très régulière, rondes, diamètre moyen de 10,3 µm (10,1 – 10,5). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées ou rectangulaires, 1 à 3 par champ de croisement. Les vaisseaux sont obstrués par des thylls à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi moyennement mince de 3,5 µm (2,9– 3,8) avec un lumen de taille moyenne (6,2 µm).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en manchons continus, parfois excentrés sur une partie du vaisseau (vers l'aubier). Il peut être anastomosé ou en paquets disposé en séries verticales de 5 à plus de 8 cellules.

Les rayons ligneux sont larges, bisériés dans leur majorité. Ils sont hétérogènes de type I avec 1 rangée de cellules terminales dressées ou carrées, excepté dans le cas des rayons unisériés qui sont hétérocellulaires. Leur répartition est de 7 rayons par mm (5 – 8), de hauteur moyenne 470 µm (303 à 579 µm soit 14 à 25 cellules de haut). La taille des rayons est homogène. Des dépôts sont observés dans les rayons ligneux dont la paroi cellulaire épaisse.

De cellules à huile rondes sont observées à raison de 4 à 5 cellules par mm², dans les fibres et les parenchymes. En coupe transversales elles font 50 µm de longueur et 30 µm de largeur. En coupe radiale elles mesurent 75 µm de largeur et 70 µm de hauteur.

1.6. *Ocotea cinerea*

Un échantillon a été récolté (RR-X-1737). Le bois est mordoré et peu odorant. Il présente un aubier différencié. La maillure est grossière, marron clair, le fil droit. Les pores sont fins, diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Le bois est de densité moyenne. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux ont tendance à être disposés en diagonale, et sont, pour la moitié isolés, et pour l'autre moitié, accolés par 2, 3 ou 4, 7 vaisseaux par mm² (5 – 9), diamètre tangentiel moyen de 155 µm (110 – 195). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 524 µm (373 – 700). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, resserrées, polygonales, diamètre moyen de 10,9 µm (10,7 – 11,2). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées ou rondes, 1 voire 2 par champ de croisement. Les vaisseaux sont obstrués par des thylls à parois fines.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi mince de 2,7 µm (2,4 – 3,1) avec un grand lumen (13,8 µm).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en manchons continus de 3 à 4 cellules de larges, à tendance aliforme, anastomosé ou en paquets et en séries verticales de 5 à plus de 8 cellules.

Les rayons ligneux sont larges, bisériés et trisériés hétérogènes de type II présentant 1 ou 2 rangées de cellules terminales dressées ou carrées. Leur répartition est de 5 rayons par mm (4 – 7), de hauteur moyenne 382 µm (146 à 729 µm soit 10 à 20 cellules de haut). La taille des rayons est homogène. Des dépôts sont observés dans les rayons ligneux.

Quelques cellules à huile, environ 9/mm², de taille intermédiaire sont observées. Elles ont une forme de goutte et on les dimensions moyennes suivantes : en coupe transversale, 20 µm* 45 µm, en coupe radiale, de largeur 55 µm et de hauteur 120 µm.

1.7. *Ocotea guianensis*

Deux échantillons ont été étudiés (RR – L – 096 et RR-X-0330). Le bois est de couleur blanc crème très léger, non-odorant, à aubier non-différencié. La maillure est grossière, marron claire, le fil droit. Les pores sont larges, diffus et la porosité est apparente à l'œil nu. Les cernes sont parfois discernables (X – 330) à l'œil nu et sont définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière et sont, pour moitié isolés, et pour l'autre moitié, accolés par 2, 3 ou 4, 10 vaisseaux par mm² (6 – 14), diamètre tangentiel moyen de 120 µm ((87) 110 – 130 (177)). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 390 µm ((284) 510 – 270 (817)). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, grosses, parfois polygonales, diamètre moyen de 12 µm ((11,4) 12 – 12 (12,4)). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires,

plutôt allongées, 1 voire 2 ponctuations par champ de croisement. Les vaisseaux sont parfois obstrués par des thylles à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spirales.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi mince de $2,4 \mu\text{m}$ ((1,4) 1,7 – 2,8 (3)) avec un grand lumen ($18,8 \mu\text{m}$).

Le parenchyme paratrachéal est épars, disposé en séries verticales de 2 à 8 cellules.

Les rayons ligneux sont de deux tailles, larges, bisériés et plus rarement trisériés. Ils sont sub-homogènes avec 1 rangée de cellules terminales dressées ou carrées. Leur répartition est de 4 rayons par mm ((2) 4 – 3,5 (6)), de hauteur moyenne $345 \mu\text{m}$ ($375 - 315 \mu\text{m}$ soit 8 à 20 cellules de haut). Des dépôts sont observés dans les rayons ligneux.

Les cellules à huiles sont dispersées mais réparties régulièrement, environ 4 cellules par mm^2 . Elles semblent élançées en coupe radiale et sont associées au parenchyme axial et au parenchyme radial mais parfois aussi dans les fibres (L – 096). En coupe transversale, les cellules ont un diamètre moyen de $26 \mu\text{m}$ et en coupe radiale, une largeur de 14 à $63 \mu\text{m}$, et une hauteur de $130 \mu\text{m}$ environ.

1.8. *Ocotea pauciflora* cf.

Un échantillon a été récolté (RR-L-105). Son bois est blanc crème, peu odorant, à aubier non-différencié. La maillure est grossière, beige, le fil droit. Les pores sont fins, diffus, visibles à l'œil nu. Le bois est dur, de densité moyenne. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux sont majoritairement isolés et plus rarement accolés par 2 (3 ou 4), 11 vaisseaux par mm^2 (8 – 12), leur diamètre tangentiel moyen est de $110 \mu\text{m}$ (65 – 146). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne $442 \mu\text{m}$ (176 – 775). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, resserrées, plutôt rondes, diamètre moyen de $11,8 \mu\text{m}$ (10,9 – 13). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées ou rondes, généralement 3 par champ de croisement. De façon très épisodique, des thylles fins obstruent les vaisseaux.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi moyennement mince de $3,5 \mu\text{m}$ (2,6 – 4,9) avec un lumen de taille moyenne ($6,3 \mu\text{m}$).

Le parenchyme paratrachéal en manchons discontinus, de rares fois à tendance aliforme, en séries verticales de 5 à plus de 8 cellules.

Les rayons ligneux sont bisériés (unisériés rarement). Ils sont hétérogènes de type I avec 1 rangée de cellules terminales dressées ou carrées le plus souvent. Quelques fois des rayons avec 4 couches de cellules carrées sont observés. Leur répartition est de 5 rayons par mm (4 – 6), de hauteur moyenne $418 \mu\text{m}$ (152 à $670 \mu\text{m}$ soit 7 à 17 cellules de haut). La taille des rayons est homogène.

Des cristaux de type tablétoïdes observés dans le parenchyme radial.

Les cellules à huile sont nombreuses, environ 8/mm², grandes et montrent un aspect allongé en coupe radiale. Elles sont associées au parenchyme axial et radial. Leur taille moyenne est de 60 µm*25 µm en coupe transversale et de 75 µm*180 µm en coupe radiale. Elles peuvent être grandes, jusqu'à 210 µm de hauteur.

1.9. *Ocotea percurrens*

Deux échantillons ont été étudiés (RR – L – 101 et RR – L – 106). Bois brun lustré, dégageant une forte odeur poivrée, à aubier différencié. La maillure est grossière, marron clair, le fil droit. Les pores sont larges diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres. Les fibres sont ordonnées, le lumen est visible à faible grossissement.

Les vaisseaux sont soit pour moitié isolés soit accolés par 2, 3 ou 4 (L – 101) soit, majoritairement isolés et accolés par 2 parfois (L 106), 8 vaisseaux par mm² ((6) 7 – 9 (10)), leur diamètre tangentiel moyen est de 134 µm ((70) 157 – 110 (223)). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 550 µm ((271) 645 – 455 (1015)). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, rondes parfois ovales, espacées, diamètre moyen de 11 µm ((9,4) 11 – 11 (12)). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, horizontales plutôt allongées, parfois ronde, 2 à 3 ponctuations par champ de croisement. Les vaisseaux sont obstrués par des thylls à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi mince de 2,5 µm ((1,8) 2,9 – 2,2 (3,1)) avec un grand lumen (11,8 µm).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en manchons d'une cellule de large (L – 101) ou en manchons et il est aliforme (L – 106), en séries verticales de 5 à plus de 8 cellules.

Les rayons ligneux sont, larges, bisériés et plus rarement trisériés (L – 106) ou bisériés et trisériés (voire 4 – sériés) (L – 101). Ils sont sub-homogènes avec 1 à 2 rangée(s) de cellules terminales dressées ou carrées. Leur répartition est de 6 rayons par mm ((5) 4 – 3,5 (9)), de hauteur moyenne 440 µm ((137) 418 – 560 (827) µm soit 11 à 25 cellules de haut). Des dépôts rougeâtres sont observés dans les rayons ligneux.

On observe des cellules à huile, moyennement nombreuses environ 5 cellules/mm². Elles montrent une forme de goutte d'eau en coupe radiale, et sont associées au parenchyme axial et radial parfois dans les fibres. En coupe transversale, les cellules sont de dimensions moyennes 30 µm*50 µm. En coupe radiale, elles mesurent en moyenne 65 µm*155 µm.

1.10. *Ocotea subterminalis*

Un seul échantillon a été prélevé (RR – L-095). Son bois présente une couleur marron lustré, odorant, à aubier différencié, de densité moyenne. La maillure est grossière, marron foncé, le fil droit. Les pores sont larges, diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Le bois est de densité moyenne. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux sont pour la plupart isolés ou accolés par 2, 3 ou 4, 10 vaisseaux par mm² et de diamètre tangentiel moyen de 99 µm (77 – 130). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 417 µm (192 – 752). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, resserrées, polygonales, diamètre moyen de 10,1 µm (8,6 – 11,4). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées ou rondes, généralement 3 par champ de croisement. Les vaisseaux sont obstrués par des thylles à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi plutôt épaisse de 5,9 µm (5,0 – 6,7) et ont un lumen de taille moyenne (7,2 µm).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en manchons continus de 1 à 4 cellules de larges, à tendance aliforme, en séries verticales de 3 à 8 cellules.

Les rayons ligneux sont fins, bisériés. Ils sont hétérogènes de type I ou II, présentant 1 (à 2) rangée(s) de cellules terminales dressées ou carrées. Leur répartition est de 6 rayons par mm (5 – 8), de hauteur moyenne 390 µm (246 à 578 µm soit 6 à 18 cellules de haut). La taille des rayons est homogène. De rares dépôts sont observés dans les rayons ligneux.

Les cellules à huile sont nombreuses, environ 8/mm². Elles peuvent être en forme de tonneau en coupe radiale. Leur diamètre en coupe transversale est d'environ 21 µm. En coupe radiale, la largeur moyenne des cellules à huile est de 67 µm et la hauteur moyenne, de 154 µm.

1.11. *Ocotea tomentella*

Un échantillon (RR – X – 1879) dont le bois est de couleur marron clair lustré, peu odorant, à aubier différencié, assez léger. La maillure est grossière, marron, le fil droit. La porosité apparente à l'œil nu, les pores sont diffus. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres.

Les vaisseaux n'ont pas de disposition particulière, et sont, à parts égales isolés ou accolés par 2, 3 ou 4. Il y a 4 vaisseaux par mm², d'un diamètre tangentiel moyen de 135 µm (90 – 195). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne 305 µm (150 – 586). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, resserrées, polygonales, diamètre moyen de 11,6 µm (10,9 – 12). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, plutôt allongées, généralement une par champ de

croisement. Les vaisseaux sont parfois obstrués par des thylls à parois fines et ne présentent pas d'épaississements spiralés.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi plutôt épaisse de $6,6 \mu\text{m}$ ($5,5 - 7,2$) avec un lumen de taille moyenne $4,8 \mu\text{m}$.

Parenchyme paratrachéal en manchons continus de 1 à 4 cellules de larges, à tendance aliforme, en séries verticales de 3 à 8 cellules.

Les rayons ligneux sont bisériés. Ils sont hétérogènes de type I et II avec 1 à 2 rangée(s) de cellules terminales dressées ou carrées. Leur répartition est de 6 rayons par mm ($3 - 7$), de hauteur moyenne $460 \mu\text{m}$ (342 à $559 \mu\text{m}$ soit 11 à 19 cellules de haut). La taille des rayons est homogène. De rares dépôts sont observés dans les rayons ligneux.

Les cellules à huile sont nombreuses, 8 cellules/ mm^2 . Elles ont une forme de goutte en coupe radiale et sont associées au parenchyme axial et radial. Parfois, elles sont retrouvées parmi les fibres. Leur taille est moyenne, de $50 \mu\text{m}$ de diamètre moyen en coupe transversale et $55 \mu\text{m} \times 120 \mu\text{m}$ en coupe radiale.

1.12. *Rhodostemonodaphne grandis*

Deux échantillons ont été analysés (RR – L -119 et RR – X – 1815). Leur bois est brun lustré, dégageant une forte odeur poivrée et présente un aubier différencié. La maillure est grossière, marron foncée, le fil droit. Les pores sont larges diffus et la porosité apparente à l'œil nu. Les cernes sont discernables à l'œil nu, définis par un élargissement de la paroi des fibres. Les fibres sont ordonnées, le lumen est visible à faible grossissement.

Les vaisseaux sont majoritairement isolés, pour les autres, ils sont accolés par 2 (3, 4). Leur densité est d'environ 9,5 vaisseaux par mm^2 ((3) 13 – 6 (21)). Ils ont un diamètre tangentiel moyen de $134 \mu\text{m}$ ((75) 96 – 160 (254)). Les éléments de vaisseaux mesurent en moyenne $388 \mu\text{m}$ ((111) 298 – 478 (815)). Les perforations des éléments de vaisseaux sont simples. Les ponctuations intervasculaires sont alternées, polygonales, resserrées, diamètre moyen de $9,1 \mu\text{m}$ ((9,4) 8,5 – 9,7 (12)). Les ponctuations radiovasculaires sont distinctes des ponctuations intervasculaires, horizontales plutôt allongées, parfois rondes, 1 à 3 ponctuations par champ de croisement. Les vaisseaux sont parfois obstrués par des thylls à parois fines.

Les fibres sont cloisonnées, à paroi moyennement mince de $3,6 \mu\text{m}$ ((3,7) 4 – 3,2 (4,5)) avec un grand lumen ($12 \mu\text{m}$).

Le parenchyme paratrachéal est disposé en séries verticales de 3 à 8 cellules. Il est concentré en manchons d'une ou plus cellule(s) de large et montre parfois une très légère tendance aliforme.

Les rayons ligneux sont, fins, bisériés. Ils sont hétérogènes de type I, avec une rangée de cellules terminales dressées ou carrées avec très rarement, présence de rayons hétérogènes de

type III. Leur répartition est de 6 rayons par mm ((4) 6 – 6 (8)), de hauteur moyenne 459 μm ((179) 425 – 492 (897) μm soit 9 à 26 cellules de haut). Des dépôts rougeâtres sont observés dans les rayons ligneux.

Les cellules à huile sont nombreuses et grosses dans un cas (11 cellules/ mm^2 , de diamètre 90 μm , de hauteur 200 μm en moyenne) et plus rares et grosses dans un autre cas (5 cellules/ mm^2 , mêmes tailles moyennes que pour l'autre individu). Les cellules à huile présentent une forme allongée en tonneau en coupe radiale, sont associées majoritairement au parenchyme axial et parfois au parenchyme radial.

2. Traitement et tableaux des résultats

2.1. Exploitation des données brutes

2.1.a. ACP

L'ACP menée sur les critères permet de déterminer les principaux critères responsables des différences. Après 10000 répétitions, le seuil de significativité est de 1,299, ce qui correspond à 5 composantes qui expliquent 87,2% de la variance. Elle donne les mêmes résultats que l'analyse SIMPER effectuée sur les mêmes données. L'ACP selon les deux premières composantes permet d'expliquer 73% de la variance.

Les critères les plus discriminants sont ceux qui sont le plus éloignés de l'origine c'est-à-dire (par ordre décroissant d'importance). Après dépouillement des données, il a été constaté qu'un ensemble de 13 caractères permettait de décrire de façon simple les genres. C'est donc sur ces 13 critères que seront basées les analyses. Il s'agit de :

- CRYSTALS (Cristaux)
- HEART_COLOUR (Couleur du duramen)
- OIL_CELLS (Disposition des cellules à huile)
- PRISM._CRYSTALS (Emplacement des cristaux prismatiques)
- TYLOSES/DEPOSITS (Thylles / Dépôts)
- GRAVITY (Densité)
- AXIAL_PAR. (Aspect du parenchyme paratrachéal)
- F_WALL (Epaisseur de la paroi fibreuse)
- PARA._DISP. (Arrangement du parenchyme paratrachéal)
- ODOUR (Odeur du bois)
- V_DIAM (Diamètre des vaisseaux)
- MUC._CELLS (Présence de cellule à mucilage)
- APO._PAR. (Parenchyme apotrachéal)
- PIV_SIZE (Taille des ponctuations intervasculaires)

La présence de cristaux, de cellules à huile et à mucilage sont des critères diagnostiques forts (variant peu entre individus de même espèce) en anatomie. Il en est de même pour les

dispositions du parenchyme apotrachéal. Celles du parenchyme paratrachéal sont d'importance moins grande puisque très variable (limite entre parenchyme en manchon et en manchons incomplets, ou vasicentrique ténue). Dans le cadre de notre étude, le type de perforation des vaisseaux (simple ou scalariforme) est important. En effet, il semble qu'une Lauracée présentant des perforations scalariformes appartienne au genre *Aniba*, l'inverse n'est pas vrai. La présence de cristaux, la perforation des vaisseaux, la présence de cellules sécrétrices, la composition des rayons ligneux sont aussi des critères forts d'identification. Il n'est pas étonnant de retrouver l'odeur en caractère fort concernant cette famille. Peut-être faudrait-il pousser ce critère en lui attribuant des classes d'intensité. En pratique, les *Aniba* ont toujours une odeur beaucoup plus intense que les *Ocotea*. Il s'agit là d'un caractère plutôt discernable sur le terrain et relatif à l'observateur. La densité, la couleur et la présence de thylles sont relativement dépendantes du stade ontogénique de l'arbre, c'est pourquoi, ils ne figurent pas classiquement comme des critères forts. Cependant, les observations devant être menées sur le duramen d'arbres adultes, ces critères peuvent être considérés dans le cadre de nos études comme des critères forts d'aide à l'identification.

2.1.b. Analyse NMDS¹

La première analyse NMDS (Figure 28) permet d'observer que les genres sont bien distincts, à l'exception du genre *Rhodostemonodaphne* qui est totalement inclus dans les *Ocotea*. Les *Nectandra* sont chevauchants sur le genre *Licaria*. Les espèces *Licaria chrysophylla* (L. chr.), *L. campechiana* (L. cam.), *Aniba canelilla* (A. can.) et *Ocotea tomentella* (O. tom.) sont mal classées.

Aniba canelilla se distingue du genre de par son bois marron foncé et sa densité élevée, comparativement aux bois jaunes représentatif des autres *Aniba* guyanais. *Licaria campechiana* se distingue par sa couleur jaune à blanchâtre et l'absence d'odeur du bois. *Ocotea tomentella* est une espèce un peu éloignée des autres *Ocotea* du fait de la présence de cellule à huile dans les fibres, ce qui n'est pas le cas chez les autres espèces qui présentent des cellules à huiles plutôt dans les rayons.

¹ NMDS : Non-Metric Multidimensional Scaling pour la définition voir p. 24 partie III.2.1

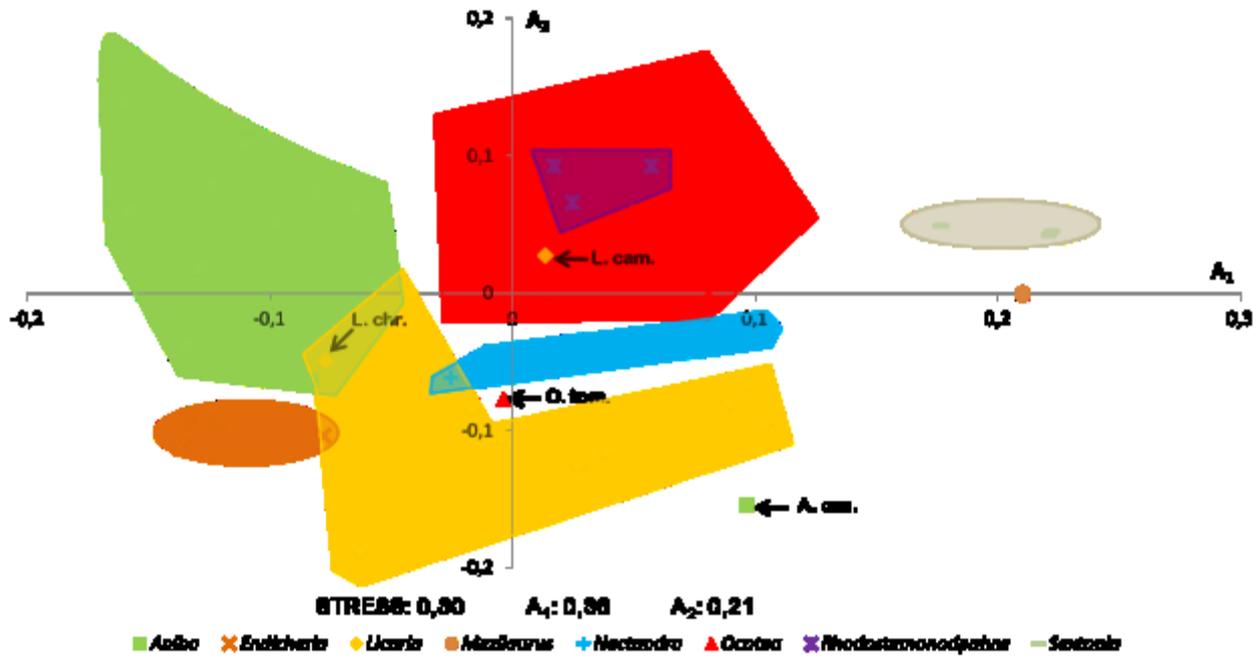


Figure 28 : Analyse NMDS des caractéristiques anatomiques du bois

Les 9 premiers critères expliquent 88% de la variance. Par ordre décroissant d'importance il s'agit de la présence de cristaux (CRYSTALS), la couleur du duramen (HEART_COLOUR), l'emplacement des cellules à huile (OIL_CELLS), emplacement des cristaux prismatiques (PRISM_CRYSTALS), des thyloses (TYLOSES), la densité (GRAVITY), l'aspect du parenchyme paratrachéal (AXIAL_PAR.), l'épaisseur de la paroi fibreuse (F_WALL), l'arrangement du parenchyme paratrachéal (PAR_DISP) et l'odeur du duramen (ODOUR).

Après 10000 répétitions, les différences sont significatives entre *Aniba* et *Endlicheria* ($p=0,0112$), *Licaria* ($p<10^{-3}$), *Ocotea* ($p<10^{-3}$), *Nectandra* ($p=0,0448$) et *Sextonia* ($p=0,0308$), entre *Licaria* et *Endlicheria* ($p=0,0084$), *Ocotea* ($p<10^{-3}$) et *Rhodostemonodaphne* ($p=0,0448$), entre *Ocotea* et *Endlicheria* ($p=0,0028$), *Nectandra* ($p=0,0392$) et *Sextonia* ($p=0,0112$). Les genres sont représentés par plusieurs espèces. Il doit donc y avoir un effet d'effectif sur la significativité des différences entre groupes (genre). En effet, les différences ne sont pas significatives entre les genres contenant peu d'espèces.

Cette analyse préliminaire va servir de base afin de distinguer les critères discriminant les genres entre eux.

2.2. Majoritaires vs. genres minoritaires

Au vu des effectifs au sein des genres, deux groupes apparaissent clairement. Un premier groupe, composé des genres *Aniba*, *Licaria* et *Ocotea*, que nous appellerons groupe majoritaire, et un autre dit groupe des minoritaires. Il s'agit des genres les moins répandus et contenant peu d'espèces étudiées c'est-à-dire : *Endlicheria*, *Mezilaurus*, *Nectandra*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia*.

Dans un premier temps, nous cherchons à déterminer les caractéristiques permettant de séparer les deux groupes. Il est possible de mettre en place trois stratégies :

1. Considérer deux grands groupes et les confronter.
2. Confronter les petits groupes aux grands groupes un à un, puis effectuer une analyse en composantes principales afin de trouver les critères discriminants
3. Faire un grand groupe des petits, et les confronter aux grands un à un

2.2.a. Majoritaire vs. minoritaires

En considérant deux grands groupes, l'analyse NMDS montre qu'il n'est pas possible de séparer totalement les deux groupes (majoritaires contre minoritaires).

Cependant, les critères suivants les distinguent de façon significative: cristaux, couleur, cellules à huiles, thylls, cristaux prismatiques et disposition des parenchymes paratrachéaux (63% de la variance expliquée). La différence entre les deux groupes est significative ($p = 0,0034$) et les critères sont listés dans le Tableau 6.

Taxon	Majoritaires	Minoritaires
CRYSTALS	Parfois petits cristaux	Pas de cristaux
HEART_COULOUR	Bois jaune ou marron	Bois marron, blanc ou cuivré
OIL_CELLS	Cellules associées au parenchyme longitudinal et radial	Cellules associées au parenchyme longitudinal et radial
TYLOSES	Thylls parfois scléreux	Thylls plutôt fins
PRISM._CRYSTALS	Présence de cristaux prismatiques pour quelques genres	Pas de cristaux prismatiques
PARA._DISP.	Plutôt vasicentrique à aliforme parfois	Plutôt épars en manchons discontinus

Tableau 6 : Critères distinguant les groupes majoritaires et minoritaires

2.2.b. Majoritaire vs. Endlicheria

Ces deux groupes se séparent bien et les différences sont significatives ($p < 10^{-3}$). Les critères les plus discriminants sont l'association des cellules à huile qui sont plutôt associées aux parenchymes chez les majoritaires mais aussi dans les fibres chez *Licaria*, les cristaux autres que prismatiques (inexistants chez *Endlicheria*) et la présence de cellules à mucilage chez *Endlicheria* et pas chez les majoritaires. Ces trois critères expliquant 30% environ de la variance suffisent à séparer les deux groupes.

2.2.c. Majoritaire vs. Mezilaurus

Ces deux groupent se séparent distinctement sur seulement deux critères : la disposition du parenchyme paratrachéal confluent chez *Mezilaurus* et en manchons parfois incomplets chez les autres, et le type de cristaux. En effet, *M. itauba* est la seule espèce étudiée qui présente des cristaux de silice dans les rayons conjointement à un parenchyme paratrachéal en manchons discontinus à continus.

2.2.d. Majoritaire vs. *Nectandra*

Ces deux groupes ne sont pas distincts et la différence entre eux n'est pas significative. En prenant les caractères responsables de 88% de la variance indiqués par l'analyse SIMPER, la différence entre les deux groupes n'est toujours pas significative. Il est donc impossible de les séparer pour l'instant. Cependant, les *Nectandra* sont séparables de façon significative des *Aniba* ($p=0,023$) et des *Ocotea* ($p=0,022$). Les *Nectandra* ne présentent pas de cristaux, ont une faible densité et des vaisseaux de diamètre plus grand que les *Aniba*. Le bois de *Nectandra* est de couleur plutôt jaunâtre (blanchâtre pour les *Ocotea*), de densité très faible, les ponctuations intervasculaires sont plus petites au sein des *Nectandra* qu'au sein des *Ocotea*.

2.2.e. Majoritaire vs. *Rhodostemonodaphne*

Dans un premier temps, ces deux groupes ne se dissocient pas à la NMDS, et la différence entre eux n'est pas significative ($p=0,7518$). Cependant, avec quelques critères judicieusement choisis, la séparation est observée avec une différence significative ($p=0,0028$) entre groupes. Il s'agit de la couleur du duramen (cuivrés pour *Rhodostemonodaphne*), la présence de cristaux (styloïdes pour *Rhodostemonodaphne*), de cristaux prismatiques (absence chez *Rhodostemonodaphne*), l'odeur (absente chez *Rhodostemonodaphne*) et le diamètre des vaisseaux (plus petits chez les majoritaires).

2.2.f. Majoritaire vs. *Sextonia*

Les groupes se séparent de façon significative ($p < 10^{-3}$). Il suffit de deux critères pour obtenir la séparation en NMDS : disposition du parenchyme paratrachéal et couleur du duramen. En effet, *S. rubra* se distingue par son parenchyme en manchons confluent formant des vaguelettes mais aussi par sa couleur un peu rouge, à l'opposé des autres bois de Lauracées blanc, jaune ou marron et qui ne montrent pas de dispositions ou d'associations des cellules de parenchyme paratrachéal particulières.

2.2.g. Conclusion

Tenter de séparer en deux groupes de genres majoritaires peut être pertinent pour distinguer les trois « grands » genres étudiés de Lauracées, *Endlicheria*, *Mezilaurus* et *Sextonia*. Par ailleurs, en formant un groupe uniquement avec ces trois genres, les deux groupes se séparent de façon significative ($p < 0,0001$). En observant finement la distribution des points (Figure 29), deux groupes parmi les minoritaires se distinguent un groupe à droite composé des *Sextonia* et *Mezilaurus*, et un groupe à gauche du groupe majoritaires composé des *Endlicheria*. Pour les genres *Rhodostemonodaphne* et *Nectandra*, il faut trouver une autre stratégie.

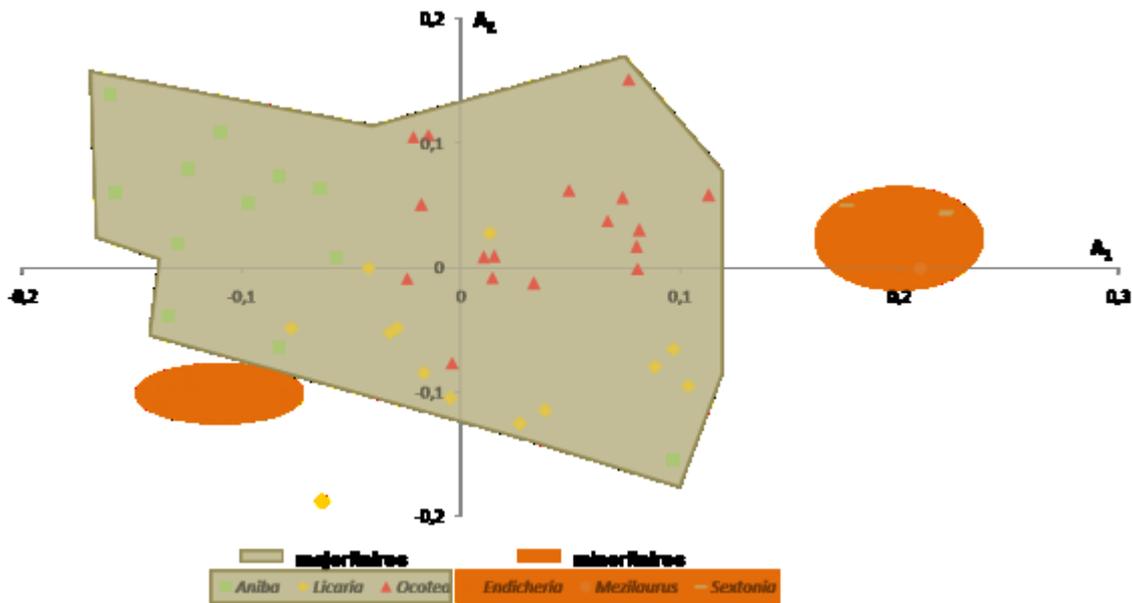


Figure 29: NMDS sur les majoritaires et certains genres du groupe minoritaires

Les critères PAR_DISP., OIL_CELLS, PRISM_CRYSTALS, HEART_COULOUR, CRYSTALS, MUC_CELLS et ODOUR, permettent à eux seuls de distinguer les groupes de façon significative ($p < 0,0001$). Ces critères, obtenus par la même méthode qu’au 2.2.a (p.84) sont explicités sur le Tableau 7.

Critères	Majoritaires	<i>Endlicheria, Mezilaurus, Sextonia</i>
PARA_DISP.	Pas de disposition spécifique	Plutôt confluent
OIL_CELLS	Souvent dans le parenchyme axial et quelques fois dans les fibres	Souvent partout
PRISM_CRYSTALS	Cristaux dans les fibres ou pas de cristaux	Pas de cristaux
HEART_COULOUR	Plutôt jaune	Plutôt marron (rouge-marron pour <i>Sextonia</i>)
CRYSTALS	Cristaux de petite taille	Silice ou pas de cristaux
MUC_CELLS	Pas de cellules à mucilage	Présence ou absence de cellules à mucilage
ODOUR	Odeur plutôt distincte	Odeur plus ou moins absente

Tableau 7 : Critères discriminants des groupes majoritaires et de quelques genres du groupe minoritaires

Ces critères pourraient servir de base de départ à une clé d’identification des genres. Cependant, les valeurs moyennes des critères doivent être nuancées. En effet, une moyenne du critère à 2,5 indique que le genre présente des classes de 2 à 3 voire plus. Par exemple, la valeur moyenne du critère HEART_COULEUR parmi les majoritaires est 3,1 ce qui correspond à la couleur jaune. Or, dans les « majoritaires », les bois d’*Aniba* sont jaune ou marron, ceux d’*Ocotea* sont marron à blanchâtre et les *Licaria* sont marron.

2.3. *Aniba, Licaria, Ocotea* et minoritaires

La formation d'un grand groupe de genres majoritaires ne permet pas une distinction nette des genres. C'est pourquoi, une autre méthode est essayée. Il s'agit de faire un groupe de genres minoritaires, un groupe *Licaria*, un *Aniba* et un *Ocotea*. L'analyse NMDS donne une bonne séparation des trois genres majoritaires mais une partie des individus du groupe des minoritaires empiète sur le genre *Ocotea* et *Licaria*. Cependant, les différences entre les groupes sont significatives selon l'analyse ANOSIM et la NPMANOVA ($p < 0,0001$).

2.3.a. Aniba vs. minoritaires

Sur l'analyse NMDS, les genres sont très bien séparés et regroupés. L'individu séparé du groupe des *Aniba* est *A. canelilla* (Figure 30).

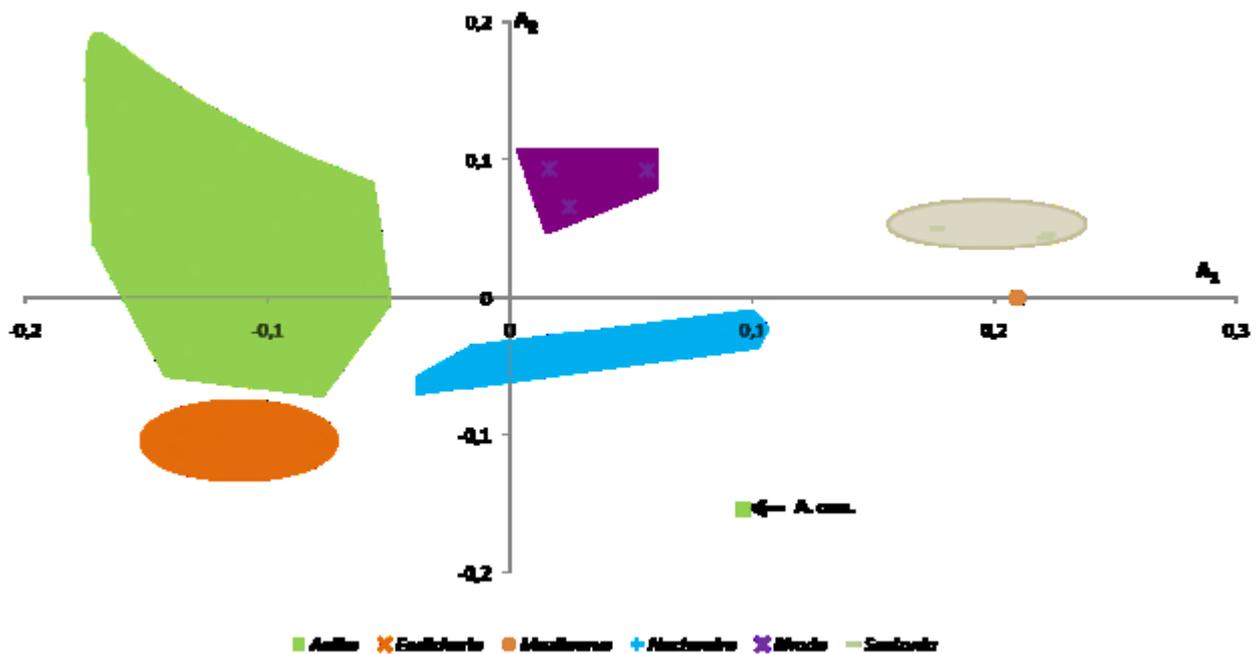


Figure 30: Analyse NMDS Aniba et minoritaires

Sept caractères suffisent à séparer ces genres des *Aniba*. Le groupe des minoritaires ne présente pas de cristaux prismatiques dans les rayons ligneux. En prenant les caractères cristaux, cristaux prismatiques, couleur du duramen, cellules à huiles, thylls, disposition du parenchyme paratrachéal, odeur, deux groupes distincts avec des différences significatives sont obtenus. A l'exception d'*Aniba canelilla* (*A. can.* sur Figure 30), les bois du genre *Aniba* sont de couleur jaune à marron, présentent une forte odeur et des thylls parfois scléreux. La différence à 88% de variance cumulée est significative entre les *Aniba* et les *Endlicheria*, les *Nectandra*, les *Rhodostemonodaphne* et les *Sextonia*. Pour les 7 critères choisis cette différence est significative aussi, soit 82% de variance expliquée ($p=0,0018 - p=0,002 - p=0,021 - p=0,0018$), selon l'ANOSIM. Les différences entre les genres minoritaires ne sont pas significatives.

Les différences entre *Aniba* et *Mezilaurus* ne sont pas significatives sûrement parce que ce dernier ne contient qu'un seul individu. En effet, il suffit de forcer le poids de ce genre en rajoutant deux lignes avec les mêmes critères, pour que la différence entre *Mezilaurus* et les autres genres soit significative. Il serait néanmoins nécessaire d'observer d'autres individus appartenant à ce genre pour confirmer cette différence.

2.3.b. *Licaria* vs. minoritaires

Une étude préalable a montré que les *Licaria* se séparaient en deux groupes de différences significative ($p=0,0079$). *Licaria* 1 est constitué de *L. campechiana*, *L. chrysophylla*, *L. chrysophylla* (ex. *rigida*), *L. martiniana* RR-L-118 et *L. polyphylla* et le groupe *Licaria* 2 est constitué de *L. cannella*, *L. cannella* PSN 50, *L. cannella* RR-L-122, *L. cannella* RR-X-0094, *L. cannella* RR-X-0220, *L. cannella* RR-X-1498 *L. cayennensis* et *L. subbullata*,

L'analyse NMDS montre que le genre *Nectandra* est très proche de *Licaria_1* et *Licaria_2*, les autres genres en sont bien séparés (Figure 31). Les différences entre groupes ne sont significatives qu'entre *Licaria_1* et *Endlicheria* ($p=0,0252$). Quand les *Licaria* sont considérés comme un groupe, les différences du genre *Licaria* avec les genres *Endlicheria*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia* sont significatives (resp. $p=0,045$ – $p=0,024$ – $p=0,0285$), contrairement à *Nectandra* ($p=0,135$). Les différences entre les genres minoritaires ne sont pas significatives.

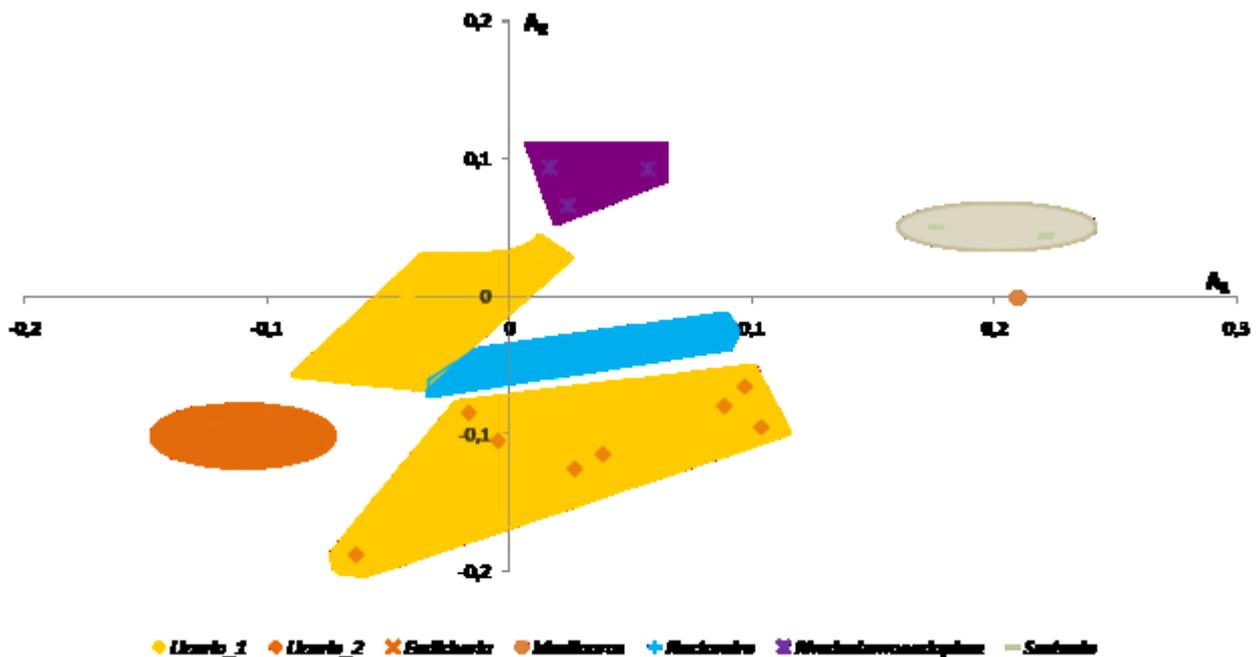


Figure 31: Analyse NMDS Licaria et minoritaires

La différence à 88% de variance cumulée est significative entre les *Licaria* et les *Endlicheria*, les *Rhodostemonodaphne* et les *Sextonia* jusqu'à 65% ($p=0,0165 - p=0,018 - p=0,033$), selon la NPMANVOA. Les différences entre les genres minoritaires ne sont pas significatives.

En ne considérant tous les genres *Nectandra* mis à part, toutes les différences entre ceux-ci sont significatives à partir de 70% de variance cumulée.

Les caractères permettant de différencier les *Licaria* des autres genres considérés sont : la couleur du duramen, la présence de cristaux, l'emplacement des cellules à huile, les thylls et dépôts, la disposition du parenchyme paratrachéal, l'odeur, la taille de la paroi des fibres, la densité, la taille des punctuations intervasculaires et la présence de cellules à mucilage.

2.3.c. *Ocotea vs. minoritaires*

L'analyse NMDS (Figure 32) montre que trois genres sont séparés du genre *Ocotea*. Ils le sont de façon significative : *Endlicheria* ($p = 0,0015$), *Nectandra* ($p=0,027$) et *Sextonia* ($p=0,0195$). Les groupes minoritaires ne montrent peu de différences significatives entre eux.

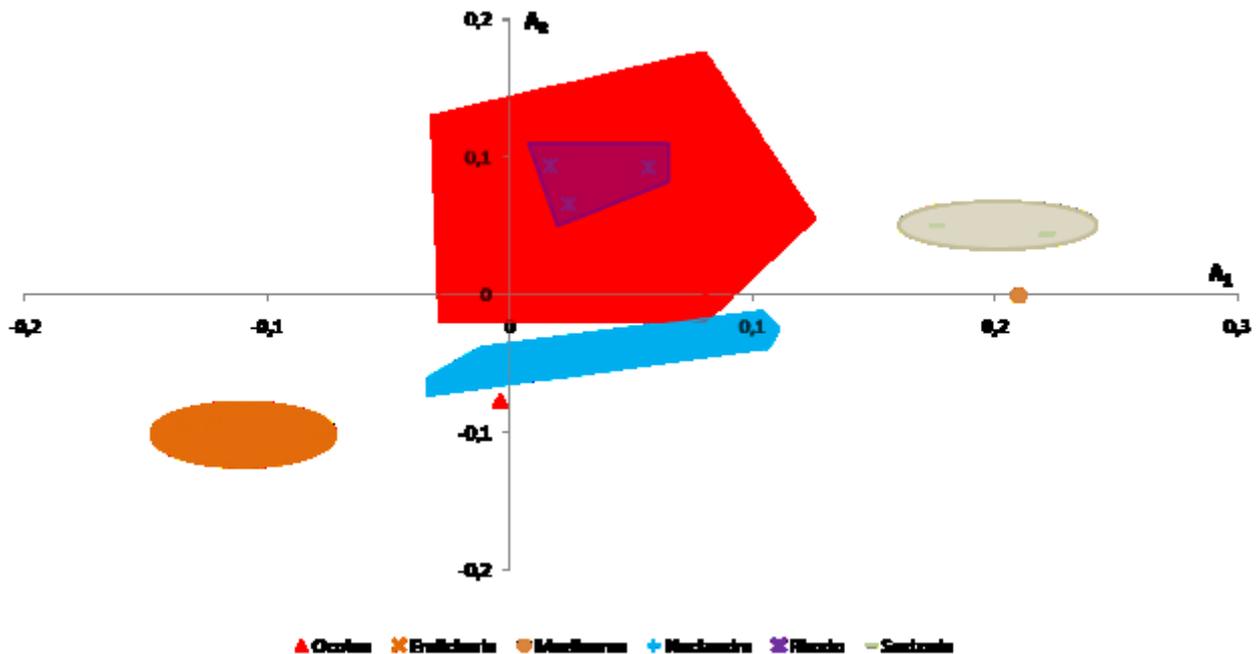


Figure 32: Analyse NMDS Ocotea et minoritaires

Les caractères principalement responsables des différences qui permettent de garder des différences significatives entre *Ocotea* et les *Endlicheria*, *Nectandra*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia* représentent 79% de la variance ($p < 0,0045 - p = 0,015 - p=0,0315 - p=0,006$). Il s'agit de: couleur du duramen, cristaux, cellules à huile, thylls, disposition du parenchyme paratrachéal, parenchyme axial, densité, taille des punctuations intervasculaires.

2.4. *Aniba, Licaria et Ocotea*

Après avoir éliminé l’hypothèse d’appartenance d’un individu pris au hasard à identifier au groupe des minoritaires, il reste à déterminer son genre parmi les majoritaires. Nous cherchons donc les critères clés discriminant ces genres. Ces trois genres sont bien séparés. Ces différences sont significatives entre *Aniba* et *Licaria_1* ($p=0,0025$), *Licaria_2* ($p<10^{-3}$) et *Ocotea* ($p<10^{-3}$), entre *Licaria_1* et *Ocotea* ($p=0,0075$), entre *Licaria_2* et *Ocotea* ($p<10^{-3}$), entre *Licaria_1* et *Licaria_2*, la différence n’est pas significative. Notons une bonne séparation des genres majoritaires en NMDS.

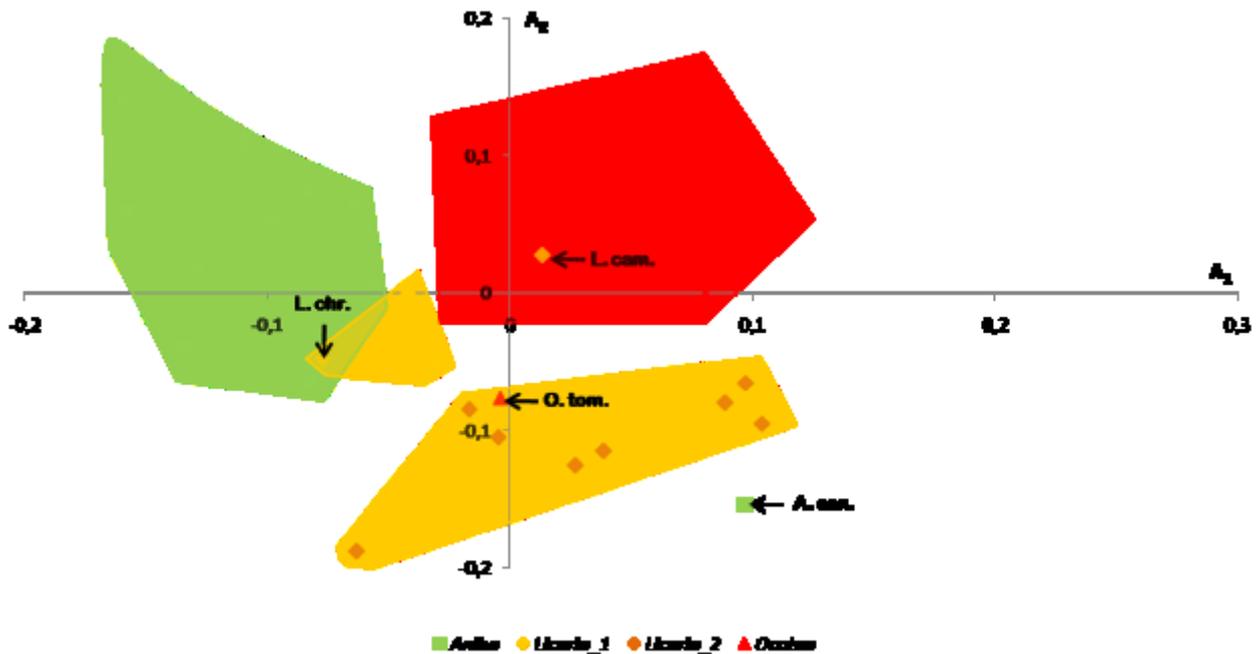


Figure 33: Analyse NMDS Aniba, Licaria et Ocotea

A 88% de variance expliquée, la différence reste significative et la différence entre les deux groupes de *Licaria* devient significative ($p=0,045$) et ce, jusqu’à 31% soit, deux critères. Au total, 7 critères permettent de différencier les 4 groupes de façon significative. Par ordre décroissant d’importance : cristaux autres que prismatiques (CRYSTALS), couleur du duramen (HEART_COLOUR), association des cellules à huile (OIL_CELLS) et présence et emplacement des cristaux prismatiques (PRISM_CRYSTALS).

Les *Aniba* présentent des cristaux de type styloïdes et prismatiques dans les rayons, sont de couleur plutôt jaune à l’exception d’*Aniba canelilla*, les cellules à huile sont associées parfois aux fibres. Les bois des *Ocotea* sont marron ou blanchâtres et les cellules à huile sont le plus souvent associées aux rayons ligneux. Les bois de *Licaria* sont marron, assez denses, présentent souvent des cellules à huile dans les fibres et rarement des cristaux.

Pour réussir à séparer ces genres entre eux, il faut observer les cellules à huile, les cellules à mucilage, les cristaux autres que prismatiques, les thylls, la densité, la couleur et la disposition du parenchyme paratrachéal. Le détail de la valeur de ces critères figure dans le Tableau 8. Lorsque ces 7 critères sont utilisés, les genres sont très bien séparés par ACP ou par une analyse NMDS. Les différences entre groupes ne sont pas significatives selon l'ANOSIM ou selon la NPMANOVA, ceci peut être dû au peu d'individus par groupes. Cependant, une bonne séparation est obtenue avec la classification ascendante hiérarchique. La branche la moins soutenue l'est à 36%.

<i>Taxon</i>	<i>Aniba</i>	<i>Licaria_1</i>	<i>Licaria_2</i>	<i>Ocotea</i>
CRYSTALS	tablétoïdes - styloïdes	rare	rare	rare
HEART_COLOUR	jaune (marron)	jaune-marron	jaune-marron	marron - blanchâtre
OIL_CELLS	associées au parenchyme longitudinal et radial	partout ou associées au parenchyme longitudinal et radial	partout ou associées au parenchyme longitudinal et radial	plutôt associées au parenchyme radial
PRISM._CRYSTALS	dans cellules couchées des rayons ligneux ou pas de cristaux	-	-	très rares
TYLOSES	thylls fins	thylls fins ou scléreux	thylls souvent scléreux	thylls fins ou absence
F_WALL	fine à épaisse	fine à épaisse	épaisse	fine
GRAVITY	mi-lourd	mi-lourd	mi-lourd à lourd	léger

Tableau 8 : Critères discriminants les genres "majoritaires" entre eux

3. Vers une nouvelle approche du traitement des données en anatomie

Afin de déterminer de nouvelles pistes d'observations des bois, une comparaison a été effectuée entre l'analyse NMDS entre les catégories extraites de la bibliographie et les catégories tirées des observations de Lauracées. L'analyse NMDS menée sur les critères « biblio » ne donnent pas une séparation entre genres satisfaisante, c'est pourquoi, des critères ont été rajoutés, comme évoqué III.1.

3.1. Coefficient de souplesse

Les fibres peuvent avoir le même diamètre tangentiel mais pas le même diamètre radial or, classiquement, c'est le diamètre tangentiel de la fibre qui est observé. De plus, il existe des fibres dont la rigidité / souplesse sont différentes au sein d'une même espèce. Le coefficient de souplesse d'une fibre permet de déterminer sa rigidité. Ce paramètre ayant semblé très variable chez les Lauracées, nous avons donc décidé de l'étudier. Il s'agit du rapport de la taille du lumen

sur le diamètre radial de la fibre. Plus ce coefficient est grand, plus la fibre est souple. Un exemple de deux types de fibres est illustré.

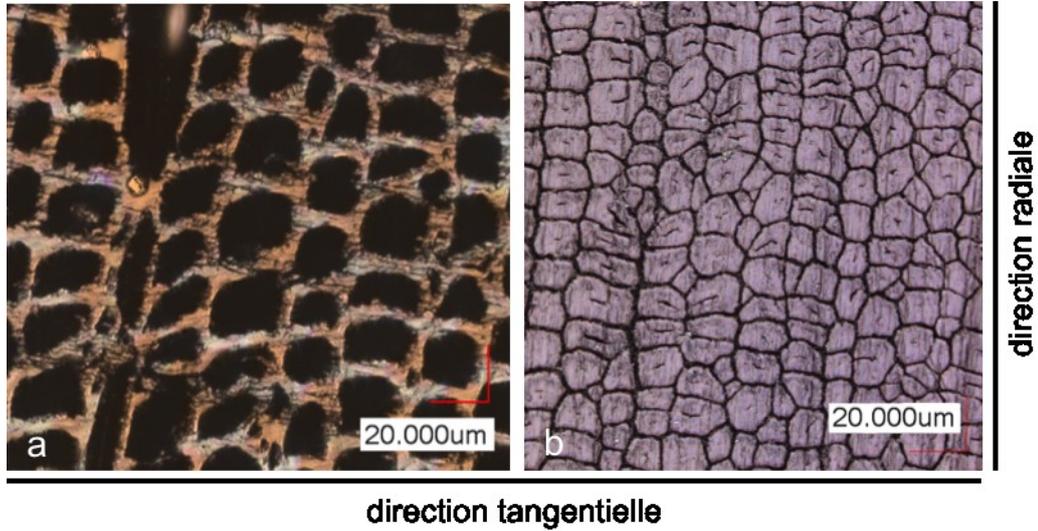


Figure 34 : Exemples de fibre souple a (coefficient =0,78) et rigide (coefficient =0,07)

Ce coefficient a été calculé chez toutes les espèces étudiées. Sur la Figure 35, ces coefficients de souplesse en fonction des espèces montrent les valeurs les plus petites chez les *Licaria* et les *Aniba*.

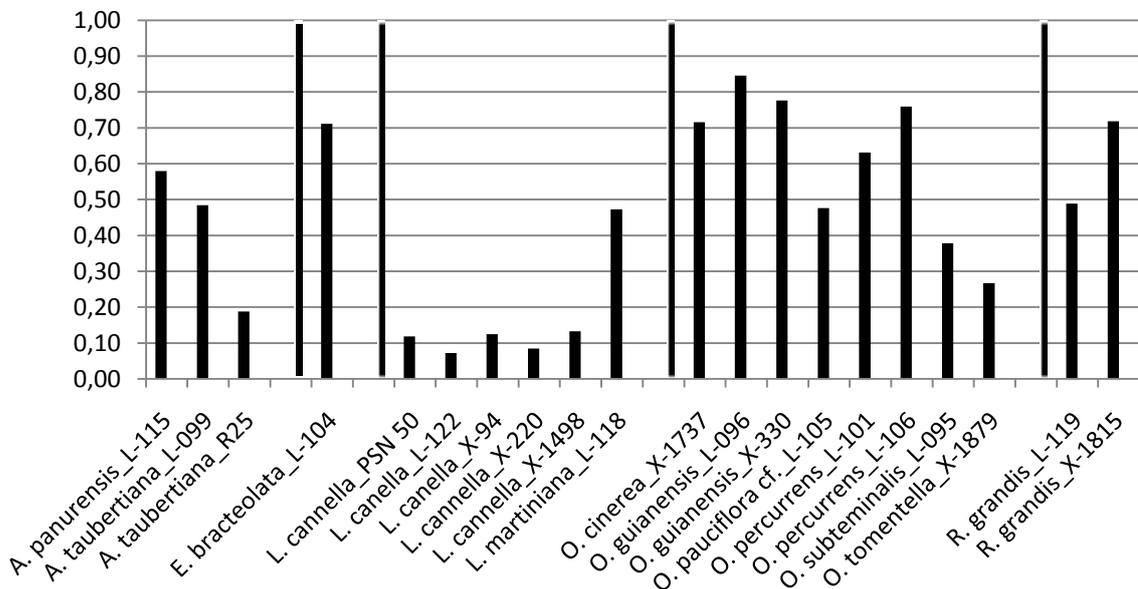


Figure 35: Coefficients de souplesse des fibres en fonction des espèces

De façon générale, ce coefficient est élevé chez les *Ocotea* (en moyenne 59%) et les *Rhodostemonodaphne* (60%), bois tendres, ainsi que chez *E. bracteolata* (70%). Il est plus bas chez les *Aniba* (40%) et faible chez *Licaria* (16%).

3.2. Densité des cellules sécrétrices

Le contenu et la taille des cellules à huile ou à mucilage étant des caractéristiques importantes dans la valorisation peut-être peuvent elles être utiles à l'identification. Elles ont été mesurées afin d'évaluer leur lien éventuel avec le rendement en huile essentielle. Le critère le plus pertinent entre la taille et la densité des cellules à huile est la densité.

Les cellules à huile et à mucilage (confondues) sont plus nombreuses (> 30/mm²) chez *Endlicheria bracteolata* (Figure 36). Ce sont les *Ocotea* qui en présentent le moins (7/mm²), puis les *Rhodostemonodaphne* (8/mm²), enfin les *Aniba* et les *Licaria* (11/mm²).

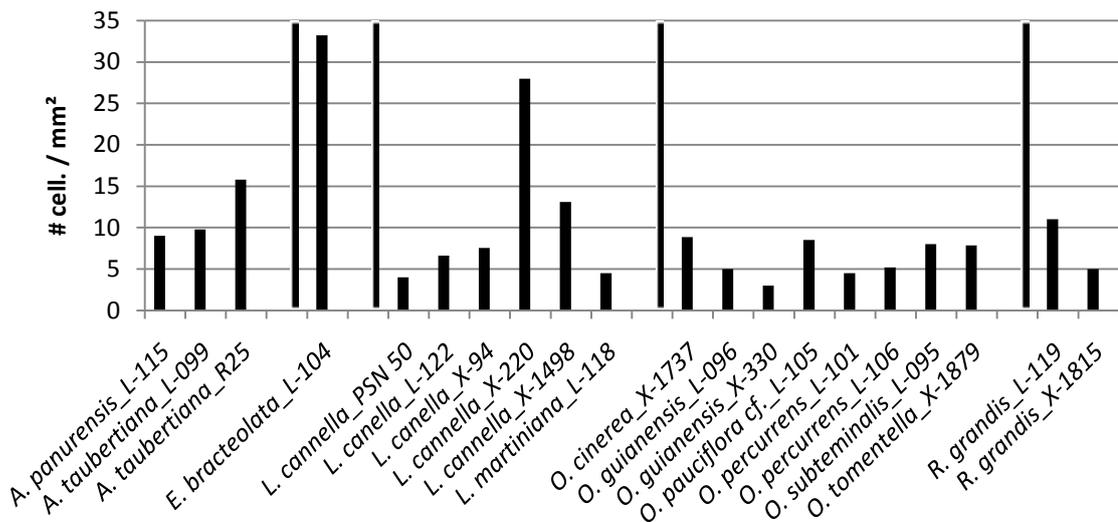


Figure 36: Densité de cellules sécrétrices en fonction des espèces

Le critère de la taille des cellules à huiles est trop variable et peu informatif dans la discrimination entre espèces alors même s'il a été relevé, il ne fait pas l'objet d'une étude approfondie.

3.3. Ajout de nouvelles classes

Après observation des échantillons, les 14 critères de la bibliographie choisis précédemment ont été découpés en sous-classes jugées plus adaptées pour les Lauracées. Par exemple, le diamètre des vaisseaux (V_DIAM) ou la taille des ponctuations intervasculaires (PIV_SIZE) ont été séparés en plusieurs sous-classes. Le détail de ces classes figure en Annexe 6.

3.4. Tri des critères pertinents

Rappelons que les critères précédemment choisis expriment 88% de la variance et sont la couleur du duramen, les cristaux, l'emplacement des cellules à huile, les cristaux prismatiques, l'épaisseur de la paroi fibreuse, les thylls, la disposition du parenchyme longitudinal, la taille des ponctuations intervasculaires et la densité du bois. A la liste des critères d'observation précédemment considérés, les deux critères coefficient de souplesse et densité des cellules à huile ont été rajoutés afin d'évaluer leur pertinence dans la séparation des genres.

De plus, des classes ont été ajoutées à certains critères en fonction des valeurs mesurées observées. Ainsi, le diamètre des vaisseaux se sépare en 5 classes contre 3 précédemment (liste des critères en Annexe 6

Trois analyses non-métriques multidimensionnelles ont été menées (Figure 37). Notons que seule la différence entre *Licaria* et *Ocotea* est significative dans les trois analyses.

3.4.a. Effet de l'affinage des classes

En affinant les classes par rapport aux classes de critères classiques, l'analyse ne s'améliore pas (Figure 37 b) par rapport à l'analyse « classique ». Cependant, la corrélation sur le deuxième axe s'améliore de 12%. Les *Ocotea* sont plus dispersés que lors de l'analyse « classique », les *Rhodostemonodaphne* se rapprochent.

3.4.b. Effet de l'ajout de deux critères aux classes classiques

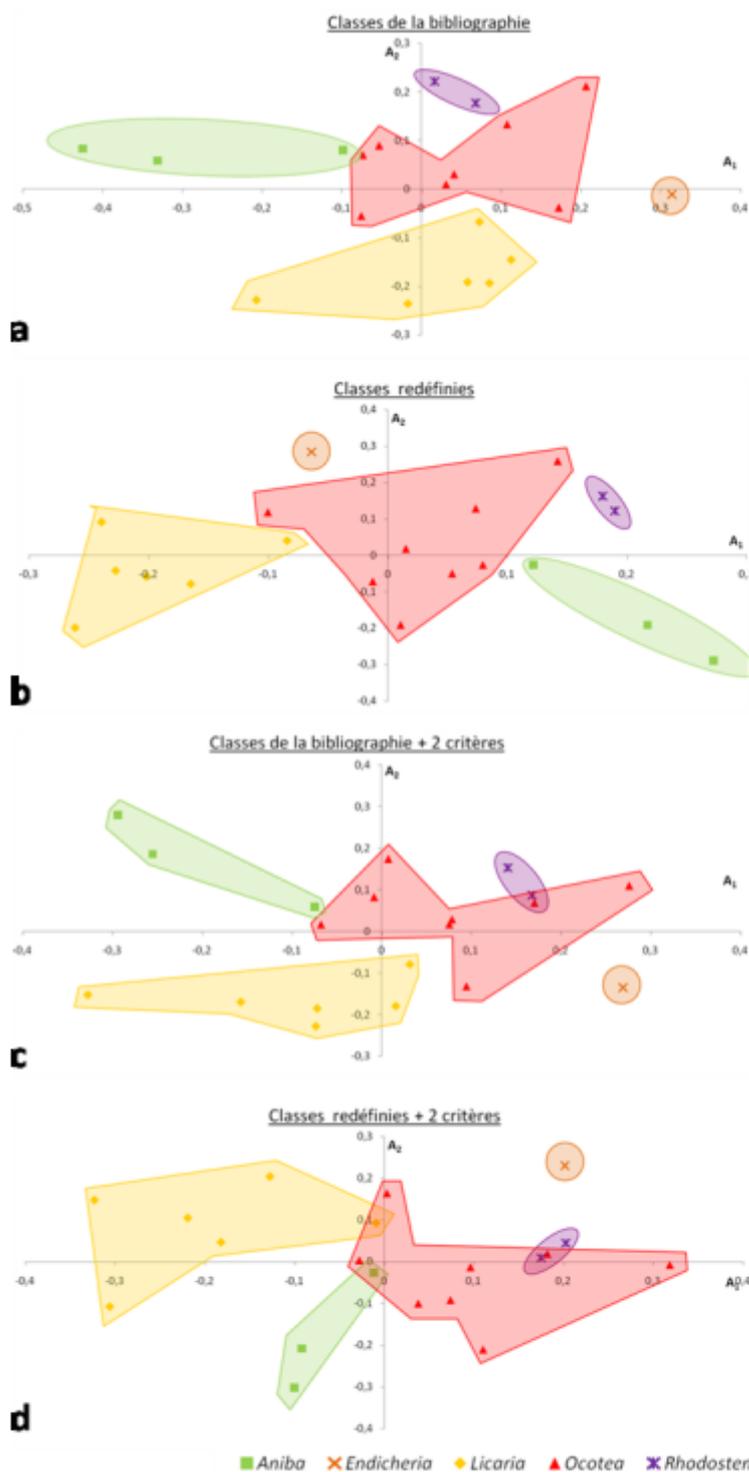
En ajoutant les critères, souplesse et densité des cellules à huile, l'ordre d'importance des critères est totalement bouleversé. Le coefficient de souplesse des fibres est le critère le plus important dans la différence entre genres, et la densité des cellules à huile arrive en cinquième position. Les corrélations sur les axes s'améliorent de plus 10% selon l'axe 2 (A₂) et le stress diminue légèrement, ce qui indique une meilleure explication de la variance entre groupes (Figure 37 c). Ce jeu de données est même meilleur que le précédent, les *Ocotea* étant plus regroupés.

3.4.c. Effet de l'ajout de deux critères aux classes redéfinies

Ce jeu de données induit le stress le plus faible des quatre analyses (0,22), la corrélation sur l'axe 1 est l'une des meilleures cependant selon l'axe 2, elle n'est pas très bonne.

3.4.d. Conclusion

Nous pouvons donc dire pour les échantillons étudiés que l'affinage des classes définies dans la littérature n'est pas utile, cependant, les deux critères ajoutés permettent une séparation plus grande des genres. D'autres observations restent à ajouter afin de confirmer la pertinence de ces critères.



	STRESS	A ₁	A ₂
a	0,24	0,45	0,38
b	0,30	0,50	0,50
c	0,25	0,48	0,35
d	0,22	0,47	0,22

- a: 14 critères dont les classes sont celles de la bibliographie
- b: 14 critères dont les classes ont été affinées
- c: 14 critères dont les classes sont celles de la bibliographie + coefficient de souplesse et densité des cellules à huile
- d: 14 critères dont les classes ont été affinées + coefficient de souplesse et densité des cellules à huile

Figure 37: Analyses NMSD comparatives des échantillons observés

4. Conclusion

Dans le cadre d'une identification rapide, il faut proposer des caractères fiables mais aussi facilement accessibles, c'est-à-dire, des critères qui nécessitent peu de préparation (lames, coloration, fendage, polissage...

D'après les observations effectuées dans cette partie, nous pouvons proposer un tableau résumant les caractéristiques clés essentielles à la détermination anatomique de chaque genre (Tableau 9). Ces caractéristiques ont été révélées par l'analyse statistique. Cependant, nous n'avons pas encore développé de moyen automatisé de prendre tous ces critères simultanés en compte. C'est quoi, pour l'instant, nous proposons une clé d'identification dichotomique menant au genre (Figure 38).

Le critère d'entrée de la clé est l'odeur de l'arbre sur pied ou la foliation simple et alterne. Les Lauracées ont une odeur terpénique bien particulière et très forte. Cette odeur reste dans le bois même après des années de conservation, elle peut être évaluée par fendage du bois.

	<i>Licaria_1</i>	<i>Licaria_2</i>	<i>Ocatea</i>	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>Mezilaurus</i>	<i>Nectandra</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Sextonia</i>
	0,4	0,1	0,6	0,6			0,7	
	4/mm ²	11/mm ²	7/mm ²	8/mm ²			>30/mm ²	
bits	Pas de cristaux - Petits cristaux	Pas de cristaux - Petits cristaux	Pas de cristaux (aciculaires chez <i>O. puberula</i> , parfois styloïdes) <i>O. subterminalis</i>		Pas de cristaux		Petits chez <i>E.</i> <i>multiflora</i> et <i>E.</i> <i>endlicheriopsis</i>	
	-	-	<i>O. subterminalis</i> marron à blanchâtre (cuivré parfois)	-	Oui	-	-	-
	marron - jaune	marron - jaune	blanchâtre (cuivré parfois)	cuivré	jaune - marron	marron (jaunâtre)	blanchâtre, clair	rougeâtre
	Partout ou RL + PAR	Partout (RL + PAR)	RL + PAR	RL + PAR	RL + PAR	RL + PAR	Partout	RL + PAR ou fibres
AR	-	absent (excp. <i>L.</i> <i>cannelal-122</i>)	absent (excp. <i>O.</i> <i>pauciflora</i> et <i>O.</i> <i>cinerea</i>)	-	-	-	-	-
	Thylles fins	Thylles fins et Thylles scléreux	Thylles fins ou absence	Thylles fins	Thylles fins (absence chez <i>N. globosa</i>)	Thylles fins	Thylles fins	-
	Odeur marquée (ex. <i>L.</i> <i>carpechiana</i>)	Odeur marquée	Odeur souvent absente	-	-	Odeur marquée	Odeur souvent absente	-
	Moyennes	Moyennes	Grandes	Moyennes à grandes	Grandes	Moyennes	Petites à moyennes	Grandes
	50 - 200 µm	(50) 100 - 200 µm	100 - 200 µm	100 - >200 µm	100 - 200 µm	100 - >200 µm	100 - 200 µm	100 - >200 µm
	-	-	-	-	-	-	oui	(-)
ne	-	absent (excp. <i>L.</i> <i>subbulata</i> , 1 ligne en limite de cerne)	-	-	-	-	-	-
te	-	absent (excp. <i>L.</i> <i>cannela</i> anastomosé)	absent (excp. <i>O.</i> <i>cinerea</i> anastomosé)	-	en manchons anastomosés	-	-	anastomosé
	moyennement épaisse	épaisse	moyennement fine	moyenne	épaisse	moyennement fine	moyenne	moyenne
	mi-lourd	lourd	léger à mi-lourd	mi-lourd	mi-lourd à lourd	léger	léger à mi-lourd	mi-lourd à lourd
	en manchons entiers ou discontinus	en manchons entiers ou aliforme	en manchons entiers ou discontinus (aliforme)	en manchons entiers à tendance aliforme	en manchons entiers à tendance aliforme	en manchons entiers ou discontinus	en manchons entiers ou discontinus	en manchons entiers à tendance aliforme

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des critères caractérisant les genres

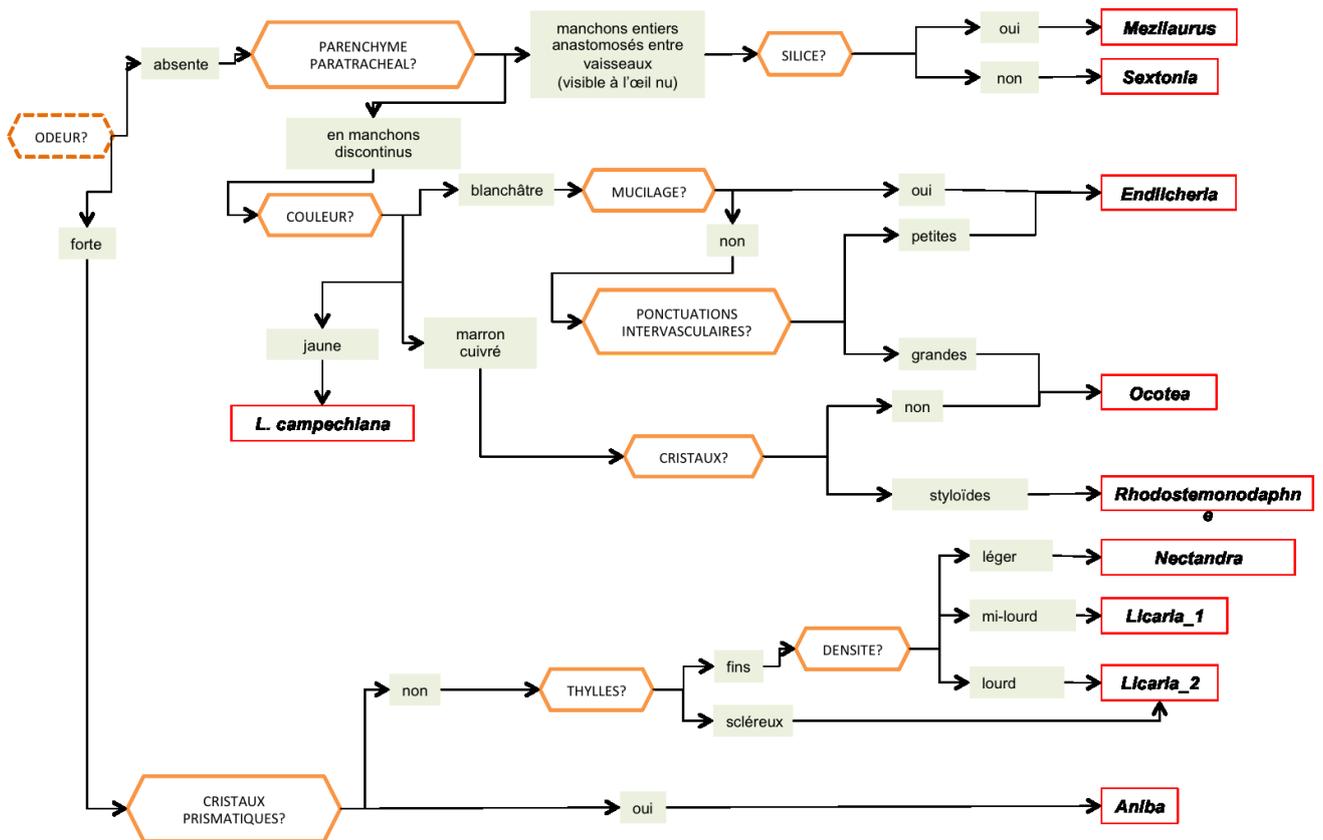
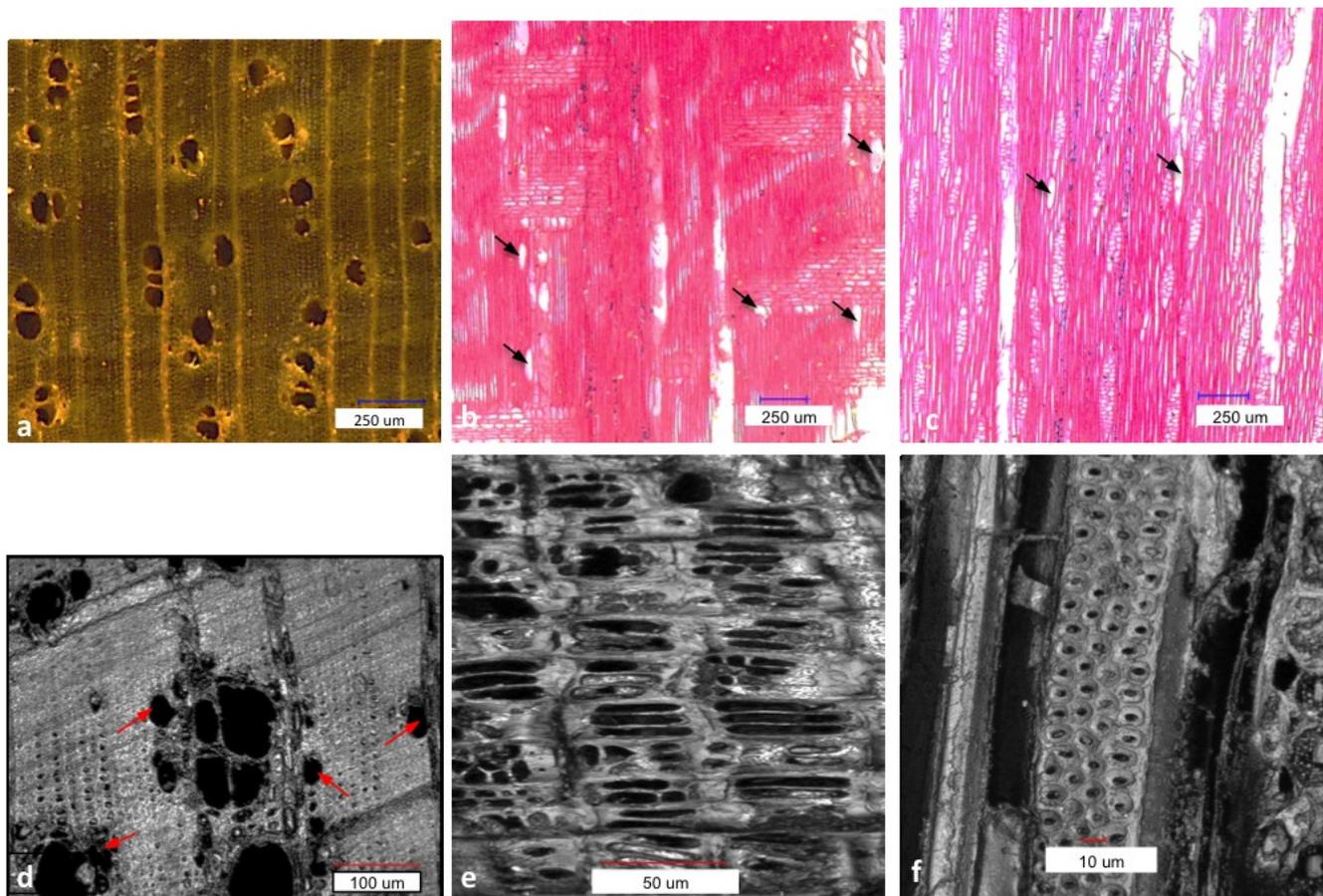


Figure 38 : Proposition d'une clé d'identification anatomique

Planche 1 : Aniba panurensis



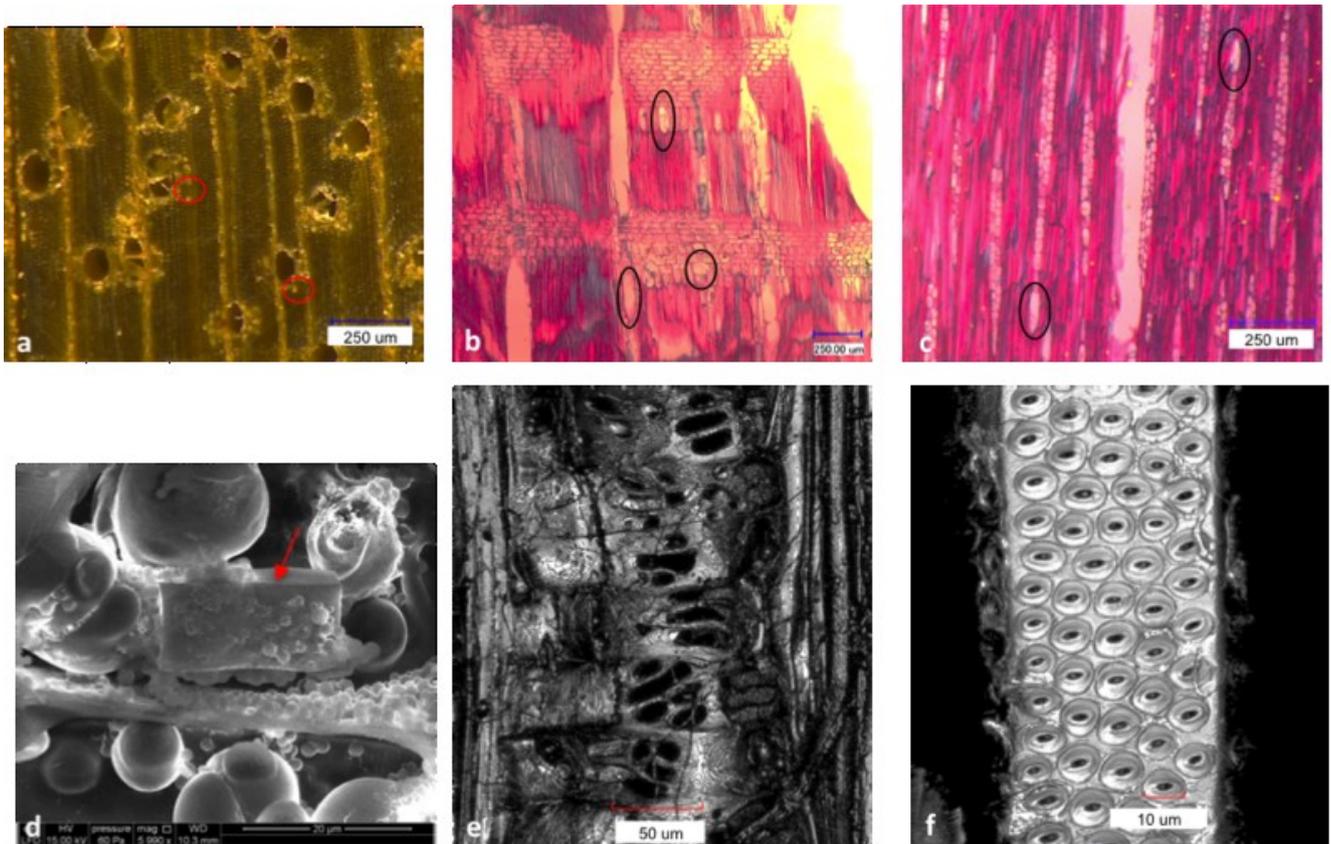
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 2 ou 3 (a), de nombreuses cellules à huile et des cellules éparses de parenchyme paratrachéal (d)

CR: rayon ligneux hétérogène de type I (b), ponctuations de champ de croisement allongées horizontalement ou quasi circulaires et quelques cellules à huile (entourées) associées aux rayons et au parenchyme longitudinal (e)

CTg: rayons ligneux bisériés (c) et ponctuations intervasculaires alternes circulaires ou polygonales resserrées (f)

* Les cellules à huile sont indiquées par des flèches

Planche 2 : Aniba taubertiana



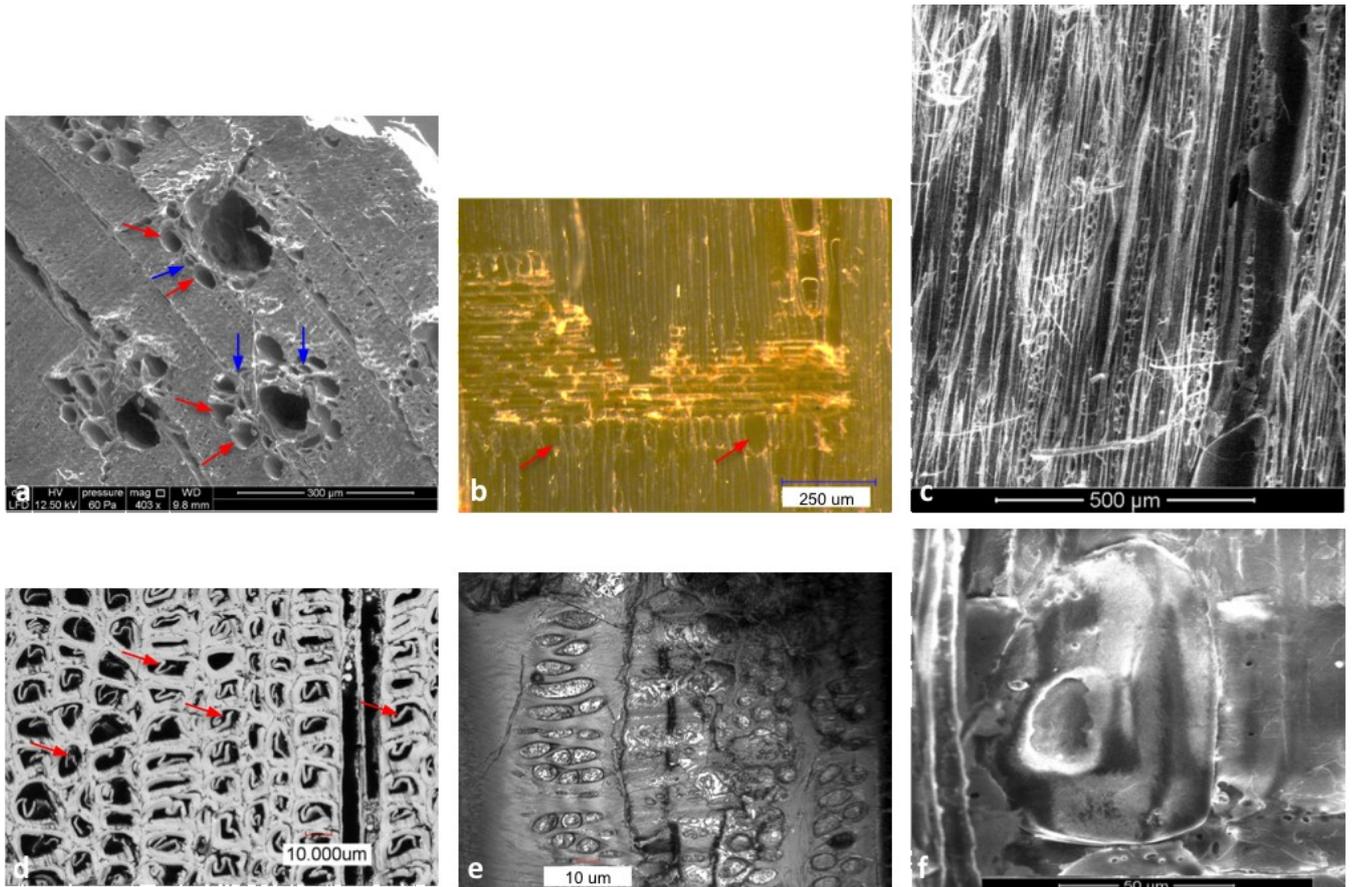
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 2 avec un parenchyme paratrachéal en manchons parfois à légère tendance alliforme, cellules à huile (entourées) (a)

CIR: rayon ligneux hétérogène de type I et cellules à huile en tonneau ou allongées associées aux rayons ligneux (b), cristaux tabloïdes d'oxalate de calcium (d), 3 à 5 ponctuations de champ de croisement par champ, allongées horizontalement (e)

CTG: rayons ligneux fins, hauts, bisériés avec quelques extrémités unisériées (c) et ponctuations intervasculaires alternes circulaires espacées (f)

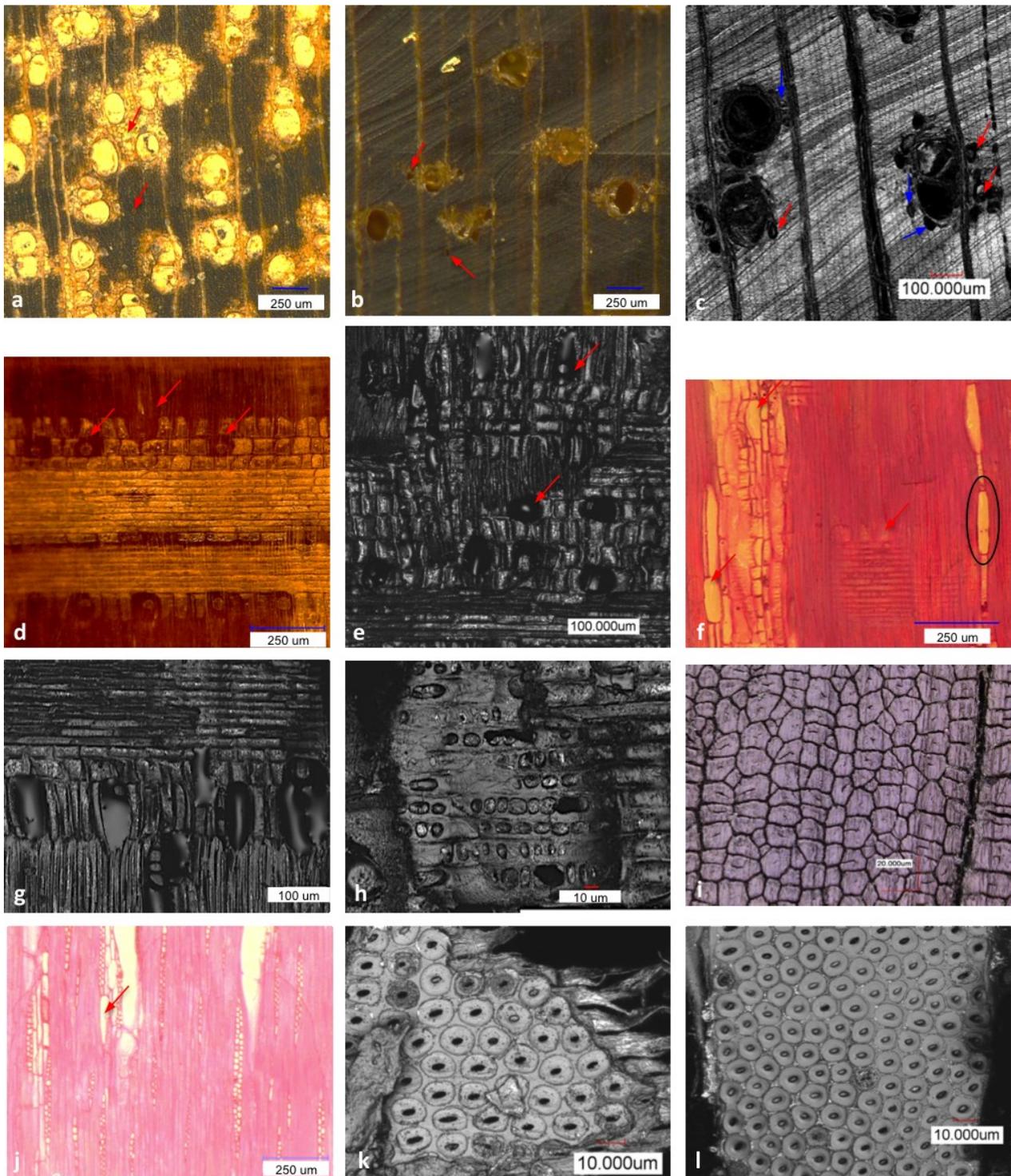
*Les cellules à huile sont entourées

Planche 3 : Endlicheria bracteolata



CT: vaisseaux isolés avec un parenchyme paratrachéal en manchons incomplets (flèches bleues) et de nombreuses cellules à mucilage et à huile (flèches rouges) (a), les fibres présentent une couche G (d)
CR: rayon ligneux hétérogène de type I et cellules à huile (entourées) en goutte d'eau (b), 1 à 3 punctuations de champ de croisement par champ, allongées horizontalement (e), détail d'une cellule à mucilage (f)
CTg: rayons ligneux fins, de hauteur moyenne, unisériés et bisériés (c)

Planche 4 : Licaria cannella



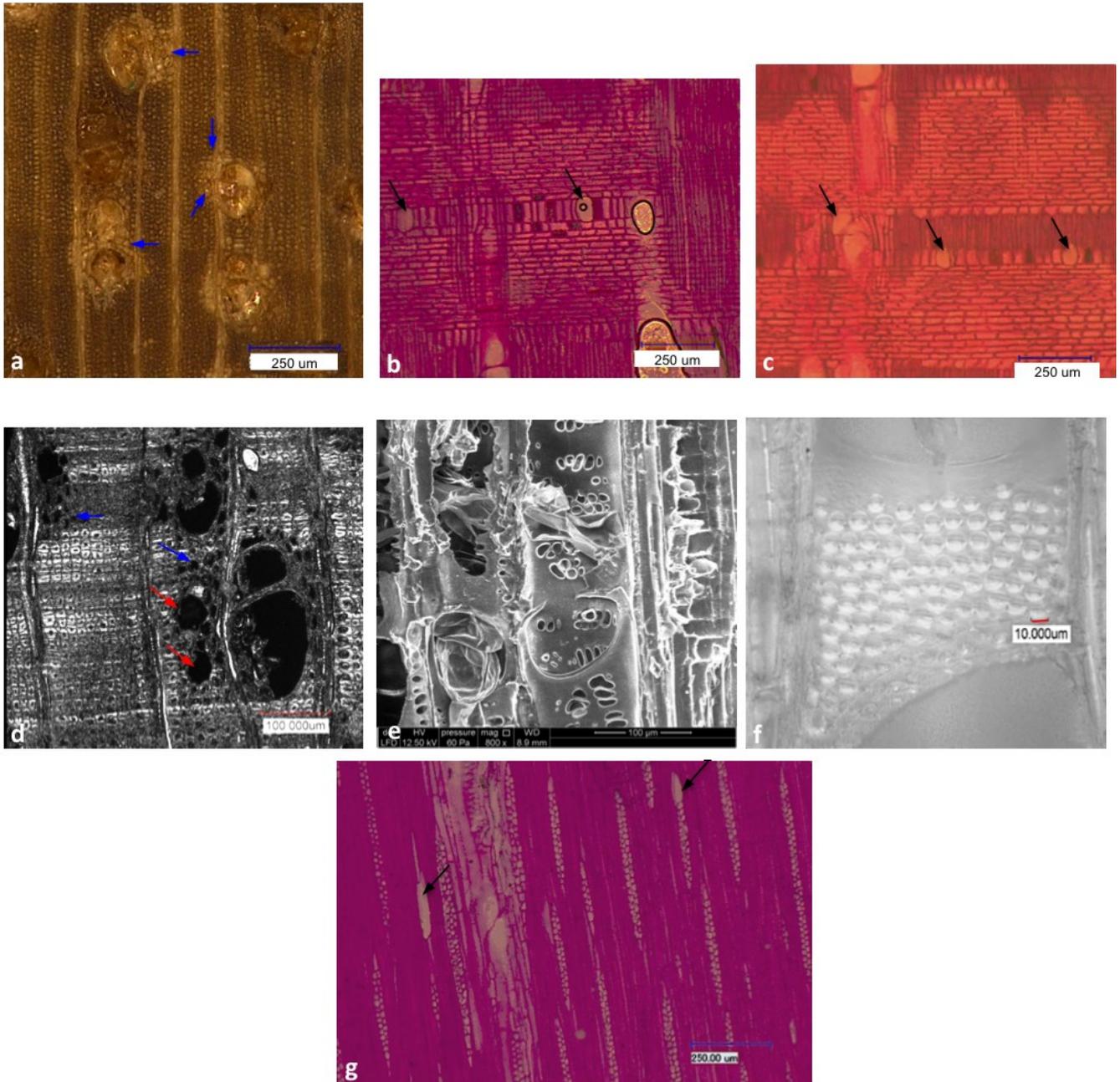
CT: vaisseaux le plus souvent isolés présentant un parenchyme paratrachéal disposé soit en manchons anastomosés entre vaisseaux (a), soit en manchons légèrement aliformes (b), soit en cellules éparses (flèches bleues) (c), fibres à paroi très épaisse (i)

CR: cellules à huile en forme de tonneau ou de goutte d'huile (g) en association avec les rayons ligneux hétérogènes de type II (d) et de type III (e), parenchyme anastomosé contenant des cellules à huile (f), ponctuations de champ de croisement circulaires (h)

CTg: rayons ligneux bisériés, parfois unisériés, fins avec cellules à huile à leurs extrémités (j), ponctuations intervasculaires alternes espacées et circulaires (k) ou resserrées (l)

* Les cellules à huile sont indiquées par des flèches rouges

Planche 5 : Licaria martiniana



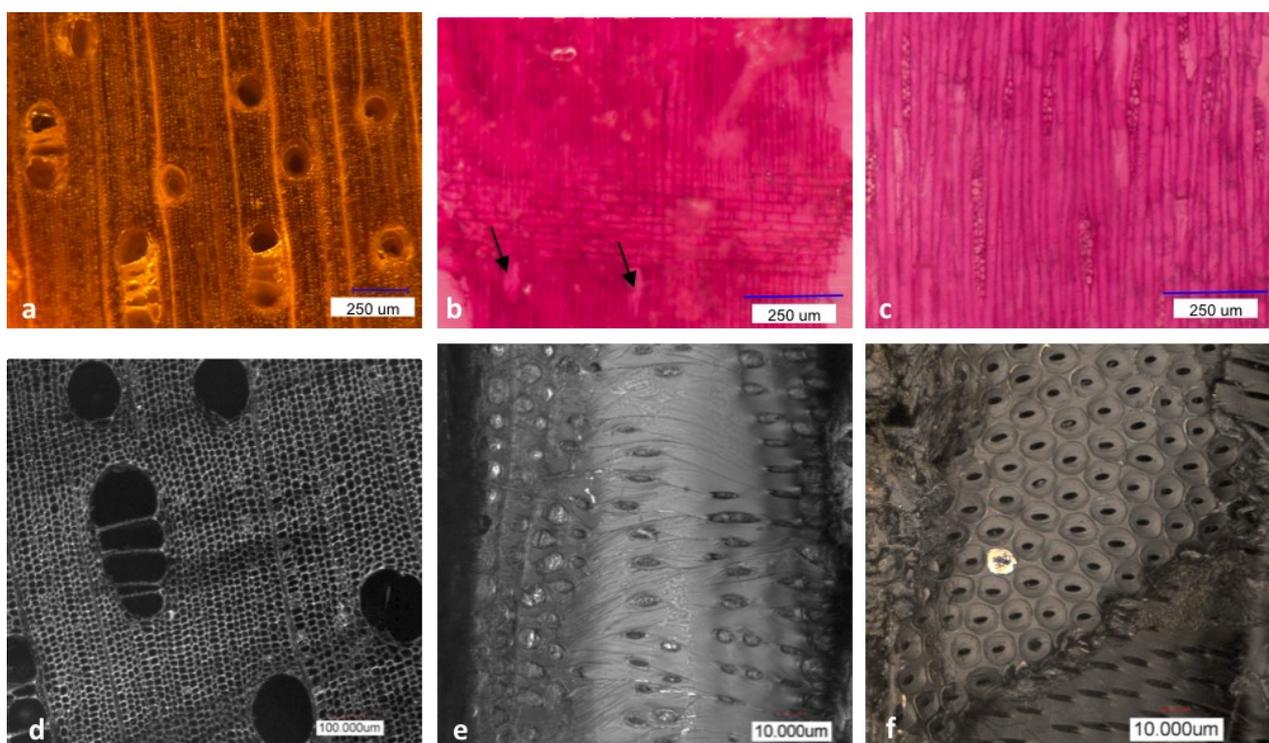
CT: vaisseaux présentant un parenchyme paratrachéal disposé soit en manchons complets parfois unilatéraux (a) – détail d'un vaisseau (d)

CR: cellules à huile en forme de tonneau ou de goutte en association avec les rayons ligneux hétérogènes de type III (b) et de type I et dans le parenchyme longitudinal (c), ponctuations radiovasculaires circulaires ou allongées (e)

CTg: rayons ligneux bisériés, hauts avec des cellules à huile à leurs extrémités (g), ponctuations intervasculaires alternées et circulaires (f)

*Les cellules à huile sont indiquées par des flèches rouges ou noires

Planche 6 : Ocotea guianensis



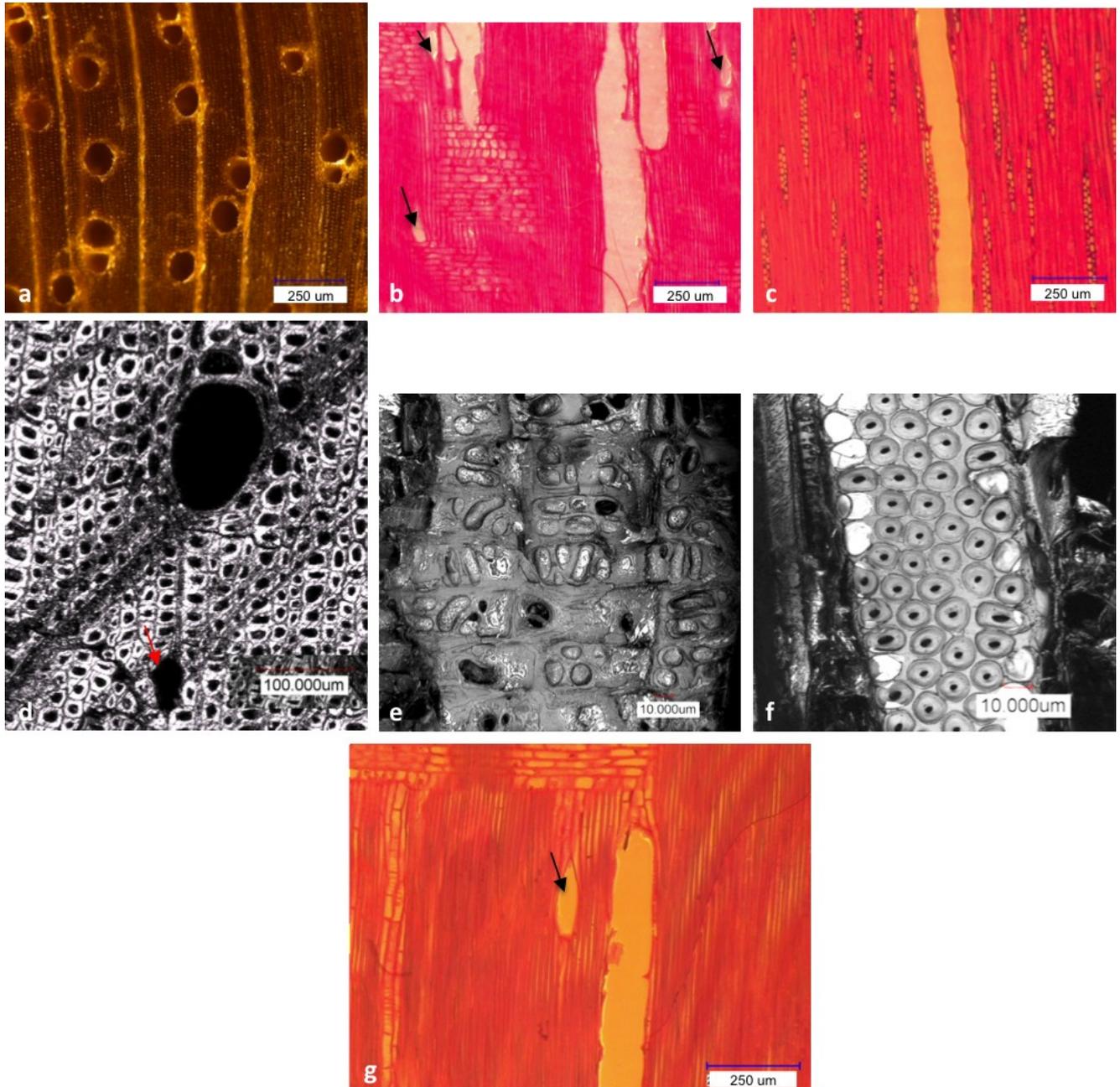
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 4 (a), parenchyme indiscernable, fibres très ouvertes (d)

CR: rayon ligneux hétérogène de type I avec des cellules à huiles associées (b), ponctuations radiovasculaires circulaires, allongées horizontalement (e)

CTg: rayons ligneux bisériés (c), ponctuations intervasculaires alternées, espacées légèrement polygonales (f)

**Les cellules à huile sont indiquées par des flèches*

Planche 7 : Ocotea pauciflora cf.



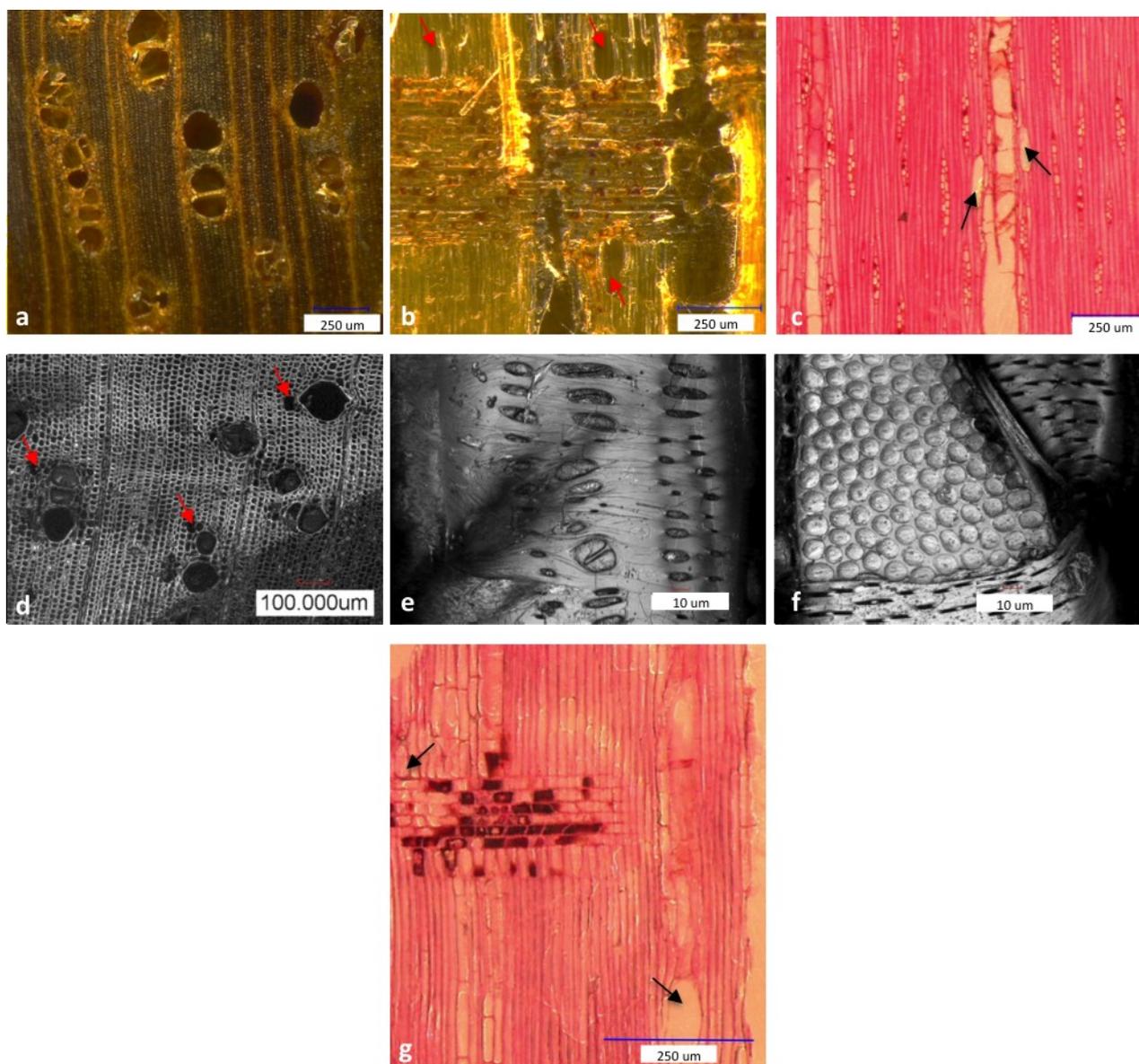
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 2 (a), cellules de parenchyme paratrachéal éparées et cellules à huiles dans les fibres (d)

CR: rayon ligneux hétérogène de type II (b), cellules à huile dans les fibres (b et g), ponctuations radiovasculaires circulaires, allongées horizontalement ou verticalement (e)

CTg: rayons ligneux bisériés et unisériés fins (c), ponctuations intervasculaires alternées, espacées (f)

*Les cellules à huile sont indiquées par des flèches

Planche 8 : Ocotea percurrens



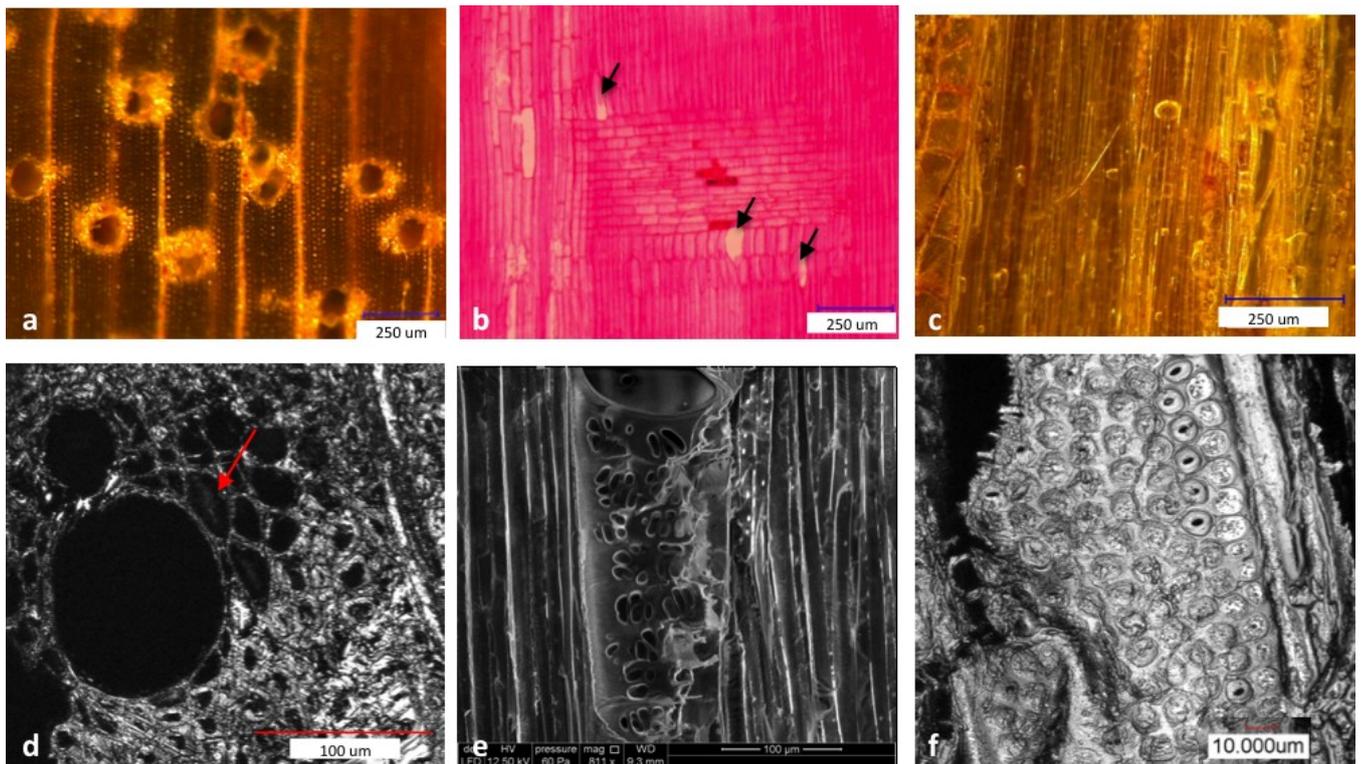
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 2, 3, 4 (a), parenchyme en manchons discontinus contenant des cellules à huile (d)

CR: rayon ligneux hétérogène de type II contenant des dépôts, cellules à huiles associées aux rayons (b) et au parenchyme longitudinal (g), ponctuations radiovasculaires allongées, 1 à 3 par champ de croisement (e)

CTg: rayons ligneux bisériés, parenchyme longitudinal en séries de plus de 8 cellules (c), ponctuations intervasculaires alternes petites, rondes et espacées (f)

*Les cellules à huile sont indiquées par des flèches

Planche 9 : Ocotea subterminalis



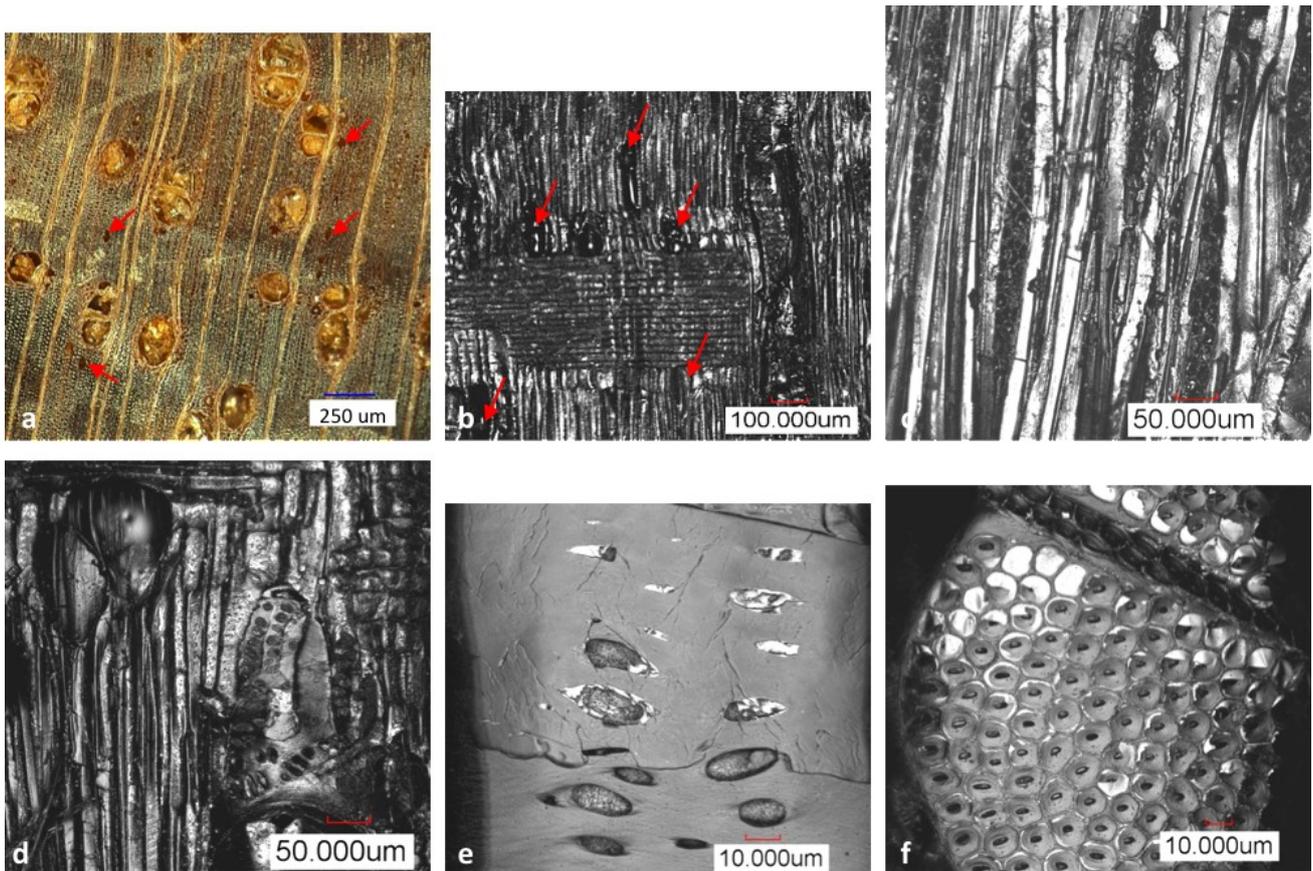
CT: vaisseaux isolés principalement, avec un parenchyme en manchons parfois à tendance aliforme (a) , détail (d)

CR: rayon ligneux hétérogène de type II contenant des dépôts, cellules à huiles associées aux rayons, parenchyme longitudinal en manchons (b), punctuations radiovasculaires allongées ou circulaires (e)

CTg: rayons ligneux bisériés (c), punctuations intervasculaires alternes petites, rondes et espacées (f)

**Les cellules à huile sont indiquées par des flèches*

Planche 10 : Ocotea tomentella



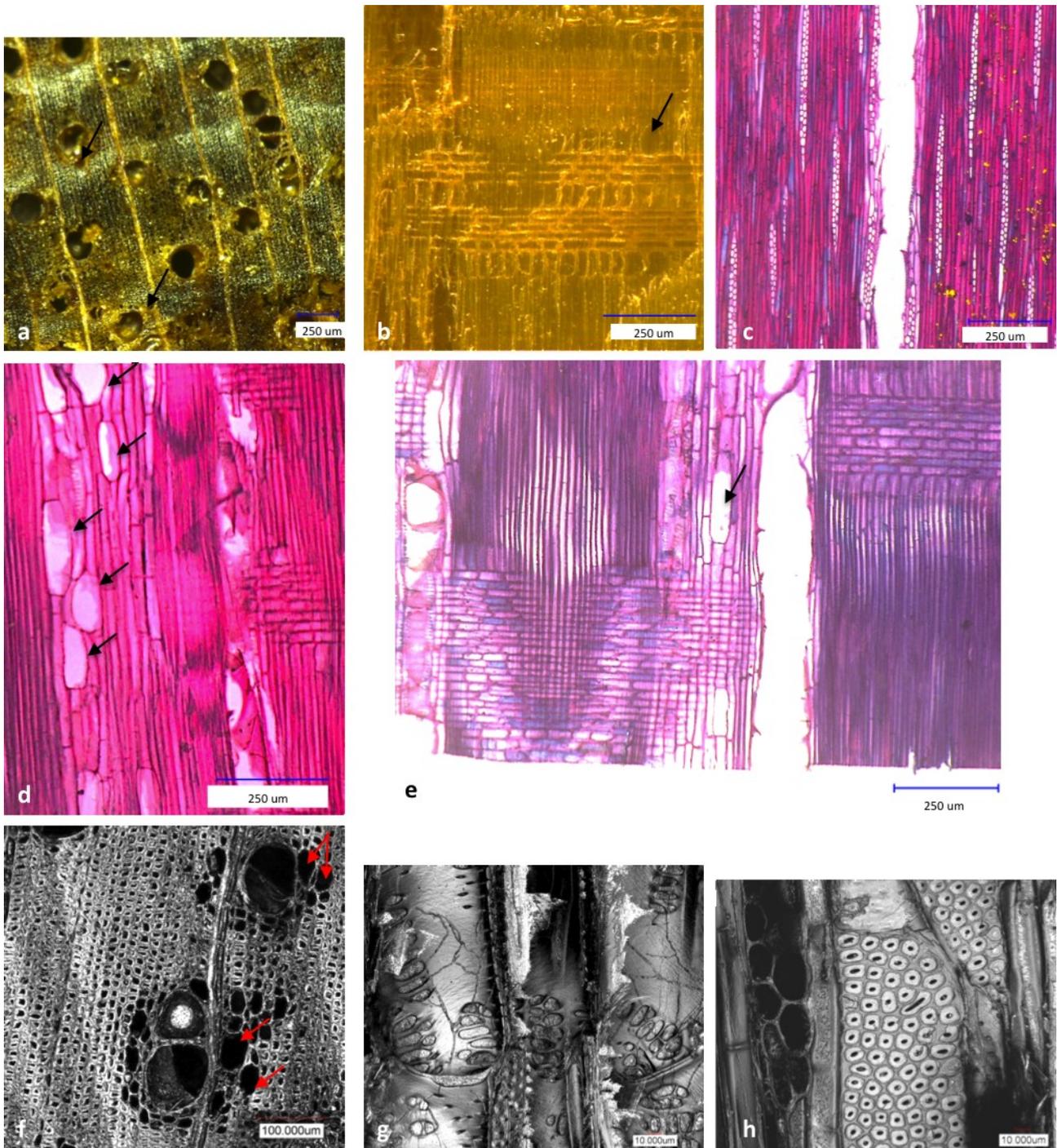
CT: vaisseaux isolés ou accolés par 2, de nombreuses cellules à huile dans le parenchyme radial et les fibres (a)

CR: rayon ligneux hétérogène de type II avec de nombreuses cellules à huile associées (b) , grosses cellules à huile en forme de goutte d'eau (d), ponctuations radiovasculaires allongées, une par champ de croisement (e)

CTg: rayons ligneux bisériés (c) et ponctuations intervasculaires alternes rondes à polygonales (h)

**Les cellules à huile sont indiquées par les flèches*

Planche 11: Rhodostemonodaphne grandis



CT: vaisseaux majoritairement isolés avec des thylles (a), présentant un parenchyme en manchons discontinus ou à tendance légèrement aliforme (f)

CR: rayon ligneux hétérogène de type III (b) ou de type I (e) et ponctuations de champ de croisement allongées horizontalement (g), cellules à huile nombreuses dans le parenchyme longitudinal (d)

CTg: rayons ligneux fins et bisériés (c), ponctuations intervasculaires alternes polygonales (h)

**Les cellules à huile sont indiquées par les flèches*

PARTIE II. CHIMIE

Dans cette partie, il sera essentiellement question de l'analyse des composés volatils émis par l'écorce des arbres. Après avoir effectué une présentation des composés organiques volatils émis par les arbres, nous verrons quelles espèces sud-américaines ont été étudiées. Puis nous présenterons la méthode d'analyse des composés volatils qui a été choisie, et enfin les résultats obtenus. Nous essaierons dans cette partie de répondre aux deux questions suivantes : Peut-on dresser une carte d'identité chimique d'une espèce ?

I. Les composés organiques volatils (COV) émis par les arbres

La diversité des COV émis par les arbres tropicaux est très grande et n'est pas uniformément distribuée entre les espèces et les familles, leur analyse montre une dominance des composés terpéniques, des dérivés de la phénylalanine et de certains dérivés carbonylés. En effet, certaines espèces sont plus riches en volatils que d'autres. C'est le cas des Laurales, des Sapindales et des Magnoliales (Courtois et al. 2009). C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à la possibilité de signature chimique des Lauracées par les COV qu'elles émettent qui appartiennent à l'ordre des Laurales. Nous avons vu en introduction que de nombreux facteurs influent sur la quantité et la qualité des productions en COV. Intéressons-nous maintenant à la nature et aux voies de biosynthèses de ces composés.

1. Les terpénoïdes

Les inventaires des composés émis par les forêts mettent en évidence la présence d'isoprènes, de monoterpènes d'alcools et de dérivés carbonylés (Kesselmeier et Staudt 1999). Les composés les plus communément étudiés sont des terpènes ou des terpénoïdes. Il s'agit d'isomères d'isoprène (C_5) généralement assemblés tête à queue et produits par des voies de biosynthèse diverses au sein de la plante. Ces molécules peuvent être cycliques ou acycliques et sont généralement odorantes.

Tous les organismes vivants contiennent au moins un type de composé dérivé de composés terpénoïdes comme les caroténoïdes, des phytols ou des stéroïdes (Haagen-Smit 1953). Des exemples de structures de composés terpéniques sont illustrés ci-dessous (Figure 39).

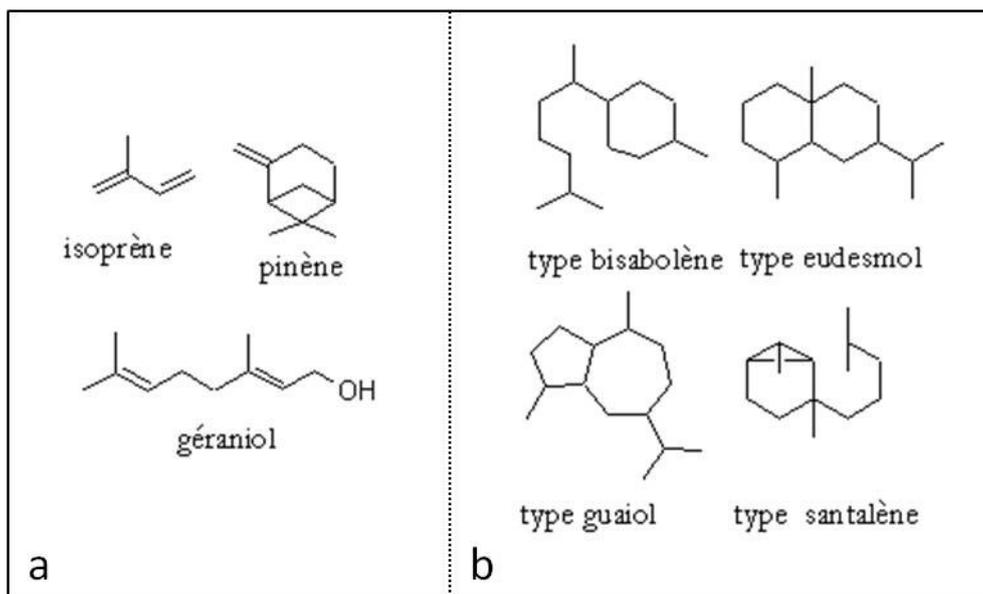


Figure 39: Terpènes communs (a) et quelques types structuraux de terpénoïdes (b)

Les monoterpènes sont généralement synthétisés dans les plastides comme le chloroplaste alors que les sesquiterpènes sont synthétisés dans le cytosol de la cellule végétale. Il existe en réalité deux voies connues de synthèse de ces monoterpènes et sesquiterpènes. Celles-ci sont schématisées Figure 40.

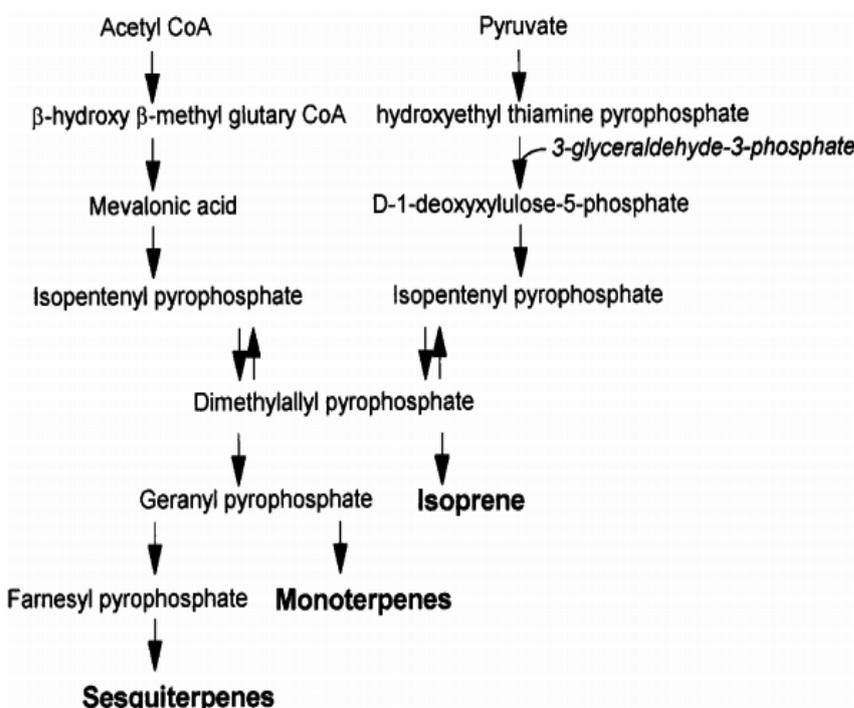


Figure 40: Voies de biosynthèses des terpénoïdes (Kesselmeier et Staudt 1999)

Les composés terpéniques ou terpénoïdes constituent la majeure partie des huiles essentielles produites par des organes sécréteurs telles des glandes, des cellules à huiles ou des canaux résinifères. C'est pourquoi, dans un but d'exploitation industrielle, nous pensons que l'analyse des composés volatils émis par l'écorce pourrait préfigurer la composition des huiles extraites du bois et de l'écorce. Il faut tout de même souligner quelques exceptions. En effet, l'oranger émet majoritairement du α -caryophyllène alors que le composé majoritaire de l'huile extraite de ses feuilles est le limonène, tout comme les chênes qui émettent des fortes doses de monoterpènes alors qu'ils ne les stockent pas.

Sur la Figure 41 sont illustrés des exemples de composés terpénoïdes fréquemment rencontrés dans les études sur les composés volatils et sur la composition des huiles essentielles de plantes.

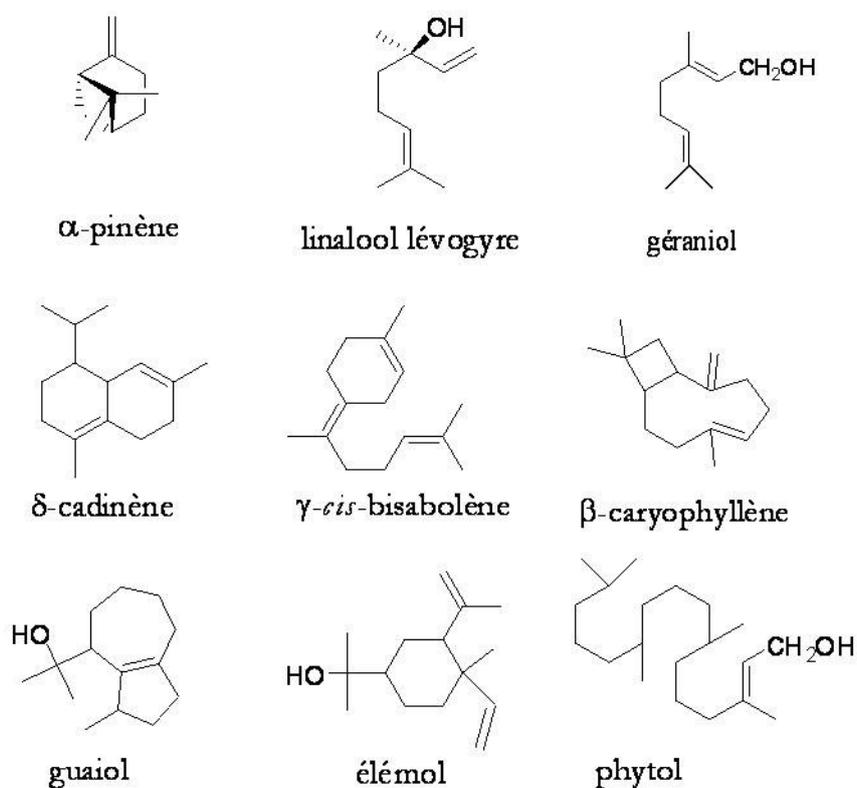


Figure 41: Terpénoïdes fréquemment décrits dans la littérature

2. Les phénylpropanoïdes

Il s'agit de composés issus du métabolisme de la phénylalanine par la voie du shikimate (Figure 42). Cette voie est celle de la biosynthèse des acides-aminés aromatiques. Ces composés sont pour la plupart odorants. On trouve parmi ces molécules l'eugénol, responsable de l'odeur du clou de girofle, le dillapiolène, l'estragole... (Hahlbrock et Scheel 1989; N.S. Sangwan et al. 2001)

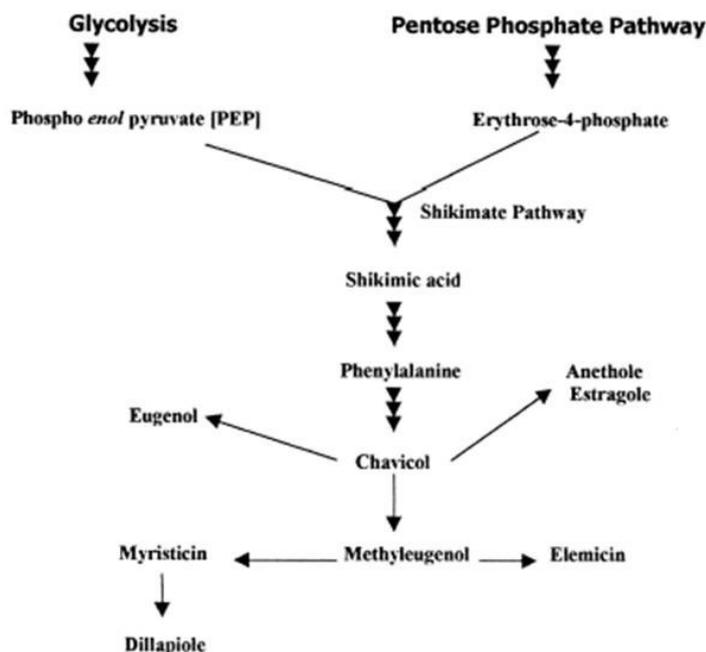


Figure 42: Voies de biosynthèse des phénylpropanoïdes (N.S. Sangwan et al. 2001)

Ces composés se divisent en plusieurs types : les acides cinnamiques, les aldéhydes cinnamiques/monolignols, les coumarines/flavonoïdes et les stilbénoloïdes (Figure 43).

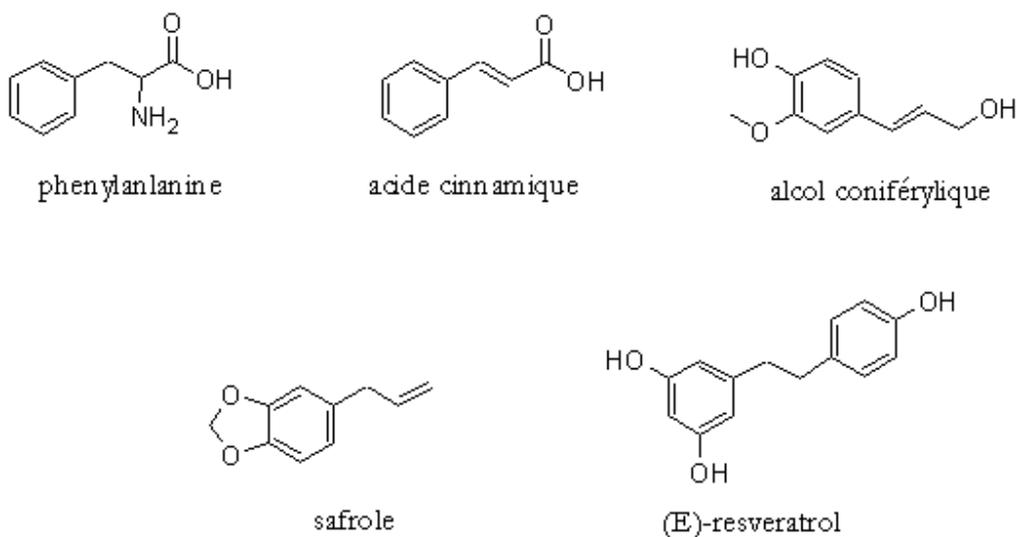


Figure 43: Structures de la phénylalanine et de divers composés dérivés

3. Autres composés

D'autres composés tels que des hydrocarbures sont produits par les arbres, principalement de l'éthane, du propane, de l'éthène, du propène et du butène. Ceux-ci résultent de la dégradation d'autres acides-aminés. Des acides organiques sont émis également mais les mécanismes les contrôlant sont encore méconnus. La formation d'aldéhydes qui est observée, résulte de la transformation du (Z)-3-hexenylacétate et du (Z)-3-hexèn-1-ol (Kesselmeier et Staudt 1999).

4. Facteurs d'émission des COV

La variation des composés est étroitement liée à l'environnement et résulte d'interactions complexes et encore méconnues entre l'arbre et son environnement (Kesselmeier et Staudt 1999).

La station semble influencer la quantité de COV produits par la plante. En effet, en Europe, les taux d'émissions des pins peuvent varier d'un facteur 50 en fonction de la région. La saisonnalité semble un facteur déterminant. En effet, le pin multiplie par 20 son taux d'émission de monoterpènes durant une année, et ce de façon cyclique. En revanche, sous un climat tropical, la saison chaude ou humide ne semble pas avoir d'influence sur le taux d'acides organiques émis par les plantes.

Les taux d'émissions de monoterpènes sont influencés par l'hydratation de la cuticule des feuilles. Il a aussi été constaté que les émissions d'isoprène diminuent avec l'intensité lumineuse. C'est aussi le cas des émissions de monoterpènes qui sont aussi dépendantes de la température. L'humidité de l'air semble être un paramètre discutable dans l'émission de COV par les feuilles.

Les arbres présentant des appareils sécréteurs montrent une explosion d'émission de composés volatils après avoir subi un stress mécanique comme par exemple un épisode de poussée foliaire ou de ramification.

5. Fonctions des COV

Cette partie a été écrite d'après plusieurs revues et publications (Gonzalez-Coloma et al. 1990; Kesselmeier et Staudt 1999; N.S. Sangwan et al. 2001; Tholl 2006; Agrawal et Fishbein 2006).

D'autres facteurs environnementaux semblent avoir une influence sur l'émission à long terme. En effet, les monoterpènes sont impliqués dans la défense des plantes contre l'herbivorie par des processus qui peuvent présenter deux étapes. Par exemple, un pin dont on attaquera l'écorce produira de la résine en réaction à la blessure puis, au cours d'une prochaine biosynthèse plus tardive, il libérera plus de monoterpènes qu'à l'accoutumée. De même, l'exsudation de latex est une défense contre l'herbivorie. Ces composés ont un grand rôle dans la défense contre l'herbivorie mais aussi dans la pollinisation des plantes. Par exemple, le linalol émis par certaines

fleurs attire les pollinisateurs, tout comme le cinnamate d'éthyle. Cependant, la majeure partie des COV est émise par des feuilles vertes ou sempervirentes. La fonction de cette émission est encore inconnue.

Il a aussi été démontré que les attaques microbiennes peuvent déclencher une surproduction de volatils. Les molécules les plus notables sont : l'acide jasmonique, l'acide salicylique, la coumarine, quelques terpènes, et l'éthine. Dans le cas d'une attaque par le virus de la mosaïque du tabac du salicylate de méthyle est émis de façon importante par la plante (Shulaev, Silverman, et Raskin 1997).

Les terpénoïdes ont un rôle de défense contre l'herbivorie et contre les pathogènes. En effet, le β -pinène est un inhibiteur de respiration qui va donc empêcher la croissance des champignons et des microbes. Le maïs réagit à la salive d'une chenille et émet des monoterpènes uniquement au contact de celle-ci. De plus, ils sont connus pour réguler les interactions entre arbres et entre les coléoptères qui s'attaquent aux écorces. Il en va de même pour les phénylpropanoïdes. Ces derniers sont des antioxydants et protègent les plantes contre les rayonnements du soleil. Le (E)-resvératrol est un phénylpropanoïde dont le pouvoir antioxydant est très utilisé dans des crèmes anti-âge.

Comme indiqué plus tôt, les composés émis par les écorces pourraient permettre de préfigurer ceux présents dans l'huile essentielle. Au vu du peu d'études existant sur la composition chimique des COV dégagés par les écorces de Lauracées, nous avons approfondi nos recherches sur les huiles essentielles extraites par hydrodistillation des feuilles, bois et écorces de Lauracées.

II. Systématique chimique et Lauracées

1. Diversité des molécules extraites des huiles de Lauracées

Les informations les plus conséquentes existant dans la littérature concernent les compositions des huiles essentielles obtenues par hydrodistillation des feuilles. La synthèse d'huiles provenant des écorces, du bois de tronc ou de branches est beaucoup plus rare. Sur la centaine de publications citées, 13 études se portent sur les huiles extraites à partir du bois et 78 sur celles extraites des feuilles.

D'autres composés extraits par d'autres méthodes que l'hydrodistillation ont été largement étudiés comme par exemple, les alcaloïdes, les lignanes.... Cependant, la synthèse reste focalisée sur les compositions chimiques des huiles principalement obtenues par distillation. En 2009, une base de données des plantes aromatiques amazoniennes regroupant plus de 2000 huiles essentielles a été publiée (Maia et E.H.A. Andrade 2009) ; parmi cette liste figurent 28 espèces de Lauracées, dont 15 espèces répertoriées en Guyane Française.

2. Composition chimique des huiles extraites de Lauracées

A partir des références citées, nous avons pu établir un tableau de présence-absence des molécules citées dans la littérature. Les huiles essentielles produites par les plantes contiennent principalement deux types de composés : des terpénoïdes et des phénylpropanoïdes qui proviennent du métabolisme de la plante, comme expliqué plus tôt. Nos recherches se sont focalisées sur les genres existant en Guyane et que nous avons récoltés. Cependant, d'autres genres seront abordés en raison de la pertinence des études les concernant.

2.1. Genre *Aniba*

La synthèse suivante est effectuée d'après des études ayant eu lieu sur *A. terminalis* (E.H.A. Andrade, Zoghbi, et Maia 2003), *A. riparia* (Luz et al. 2002), (Anyo et al., 1979), *A. fragrans* (Maia et al. 2007), *A. citrifolia* (Zoghbi et al. 1997), *A. rosaeodora* et *A. canelilla* (Taveira 1991; Taveira et al. 2003; J.K.R. da Silva et al. 2007).

Les huiles extraites des différents organes des arbres de ce genre, pourraient être divisées en trois groupes (Gottlieb 1972) :

- Le groupe « linalol » (*Aniba rosaeodora** (syn. *A. duckei*))
- Le groupe « benzoates » (*Aniba fragrans*, *Aniba firmula*, *Aniba gardneri*, *Aniba burchellii*, *Aniba parviflora*, *Aniba permollis*)
- Le groupe « allylbenzène » (*Aniba canelilla*, *Aniba hostmanianna**, *Aniba pseudocoto*)

Les espèces guyanaises sont indiquées avec un astérisque.

2.1.a. Huiles des feuilles

De toutes les espèces rencontrées, le linalol est la molécule la plus commune, suivie par l' α -pinène, le β -pinène, l' α -copaène et le β -caryophyllène. Aucune composition ne se dégage particulièrement de celle des autres à l'exception d'*Aniba canelilla* qui présente comme dans l'huile des feuilles la molécule de 1-nitro-2-phényléthane (Taveira 1991; Taveira et al. 2003; J.K.R. da Silva et al. 2007).

Dans l'huile des feuilles d'*A. parviflora*, les composés majoritaires sont le germacrène D et le β -caryophyllène. Le β -caryophyllène est le composé majoritaire de l'huile d'*A. rosaeodora* (Alcântara et al. 2010). *Aniba riparia* présente deux profils différents : Un profil dominé par le linalol (Maia et al. 2001) et l'autre par le β -caryophyllène, l' α -humulène et l'élémol (Luz et al. 2002). L'huile d'*Aniba terminalis* présente un composé majoritaire particulier, l' α -phellandrène mais aussi du linalol et du p-cymène.

2.1.b. Huiles du bois

Le benzoate de benzyle et le salicylate de benzyle sont des composés retrouvés dans tous les bois d'*Aniba* (Gottlieb et Kubitzki 1981b) sauf celui d'*A. rosaeodora*. Par ailleurs cette espèce est la seule à montrer du linalol comme composé majoritaire et presque unique dans le bois

comme dans les feuilles, ce qui est caractéristique de cette espèce. L'huile d'*Aniba duckei* contient 81,8% de linalol et 3,8% de spathulénol plus tard cette espèce sera reconnue comme espèce synonyme d'*Aniba rosaeodora*. Il se peut qu'*A. parviflora* montre une grande proportion de linalol.

La molécule de 1-nitro-2-phényléthane n'est trouvée que chez *Aniba canelilla* (Taveira 1991; Taveira et al. 2003; J.K.R. da Silva et al. 2007).

La molécule de 2,4,5-triméthoxyallylbenzène est le composé majoritaire de l'huile de bois d'*A. hostmanianna* (Morais et al. 1972).

L'huile du bois d'*A. parviflora* présente deux types : un type dominé par les sesquiterpènes et le salicylate de benzyle et un type par le benzoate de benzyle (Maia et E.H.A. Andrade 2009).

Les huiles issues du bois d'*A. riparia* contiennent du benzoate de benzyle en majorité et du salicylate de benzyle. Cette dernière molécule n'a été observée que dans cette espèce. Les huiles extraites de ces arbres présentent presque toutes des composés du monocycle 2-pyrone.

2.1.c. Huiles des écorces

Aniba citrifolia présente du safrole, de l' α -pinène et du β -pinène comme composés majoritaires, cette composition est singulière car le safrole, chez les *Aniba* est rarement majoritaire (Maia et al. 2001).

La molécule de 2,4,5-triméthoxyallylbenzène est le composé majoritaire de l'huile d'écorce d'*A. hostmanianna* (Morais et al. 1972).

Ici encore, deux profils chimiques singulièrement différents ont été observés chez *Aniba riparia* : le chémotype (E)-nérolidol, α -humulène, élémol et le chémotype benzoate de benzyle, rencontré dans le bois (Luz et al. 2002).

2.2. Genre *Cinnamomum*

Les travaux effectués sur les espèces du genre *Cinnamomum* de la zone asiatique sont nombreux du fait de leur intérêt industriel. Les huiles faisant l'objet des études sont produites à partir des fruits, écorce, bois et fleurs. Par exemple, le camphrier (*C. camphora*) à Madagascar ou encore *C. zeylanicum* (cannelle vraie) (Kaul et al. 2003).

Ce genre, comme le genre *Ravensara* (Andrianoelisoa et al. 2006) comprend des espèces pouvant être séparées en chémotypes comme c'est le cas chez *C. camphora*, *C. zeylanicum*. Une étude sur des espèces du genre *Cinnamomum* a permis de les séparer en deux groupes un groupe produisant des huiles riches en composés aromatiques qui sont méthyleugénol, bicyclogermacrène, safrole, camphre et élémicine et un second groupe riches en composés terpénoïdes tels que α -pinène, (E)-nérolidol, β -sélinène, spathulénol et β -eudesmol (Pino et al. 2006).

C. zeylanicum a fait l'objet de nombreuses études. Plusieurs chémotypes de l'huile essentielle de feuilles et branches se dessinent: trans-cinnamaldéhyde (Chalchat et Valade 2000), linalol, δ -cadinène, eugénol, acétate de trans-cinnamate, benzoate de benzyle (Nath, Pathak, et A. Baruah 1996). L'analyse d'huile des fruits, de jeunes rameaux et de fleurs d'une espèce du chémotype eugénol, met en évidence des composés majoritaires similaires : linalol, (E)-acétate de cinnamyle et β -caryophyllène.

Chez *C. camphora*, il existe trois chémotypes : camphre, 1,8-cinéole, bois de Ho de Formose (Pino et Fuentes 1998; Chalchat et Valade 2000; Stubbs, Specht, et Brushett 2004). Les études les plus nombreuses montrent que les écorces et le bois produisent des huiles riches en camphre (resp. 30/40%), en linalol (19/32%), et en safrole (24/30%). Le troisième type par ailleurs concurrence la production de bois de rose du Brésil (Bruneton 1999). Les composés majoritaires communs aux deux études sont : α -pinène, camphène, β -pinène, linalol, α -terpinéol, (E)-caryophyllène. Celle qui provient d'Inde présente aussi du (E)-cinnamaldéhyde (1,6%).

Le cinnamaldéhyde est le composé majoritaire de l'huile de feuilles de *Cinnamomum pauciflorum* (Nath, A. Baruah, et Kanjilal 2006). Il avait aussi été retrouvé comme étant composé majoritaire avant cela dans l'huile provenant de feuille, écorce et écorce de racine (Nath, Hazarika, et A. Baruah 1996). Cette dernière étude a permis de mettre en évidence l'existence de deux chémotypes pour cette espèce. En effet, d'autres travaux avaient mis en évidence un autre composé majoritaire, le safrole (Ying-Fang 1980; Changsheng, Hong, et Zhijin 2007).

Le composé majoritaire de l'huile issue des feuilles de *Cinnamomum sulphuratum* est un isomère du citral (A. Baruah, Nath, et Leclercq 1999; A. Baruah, Nath, et Boissya 1999) contrairement à d'autres études donnant le linalol (Nath et al. 1994).

L'huile essentielle extraite des feuilles de *C. verum* des Îles Fidji est majoritairement composée d'eugénol (86%), de (E)-caryophyllène, et de linalol (Patel et al. 2007). Trente et un composés ont été identifiés. Les auteurs comparent leurs résultats avec l'étude d'une huile de *C. verum* provenant d'Inde dans laquelle seulement neuf composés avaient été identifiés (les composés majoritaires restant les mêmes (Nath et al. 1997). Trois raisons sont invoquées pour expliquer cette différence : le mode et type d'analyse, stabilité des composés et voies de biosynthèse différentes en fonction de l'endroit ou stress des plantes lors de la récolte.

L'huile de *C. glanduliferum* semble riche en (E)-nérolidol dans une première étude (A. Baruah et Nath 2006) alors que d'autres études de la même espèce ont donné le cinéole, le linalol, le camphre et l' α -terpinéol comme molécules majoritaires. D'où l'hypothèse de l'existence de chémotypes chez cette espèce.

C. pubescens contient majoritairement du benzoate de benzyle (46-47%), du α -phellandrène (15-17%) et du p-cymène (6-7%) dans l'étude de la composition des huiles issues de feuilles d'arbres de deux villes différentes (Jantan, Yalvema, et al. 2005). Une des huiles contient aussi du salicylate de benzyle en proportions non négligeables (19%) par rapport à

l'autre (0,1%). Ceci rentre en opposition avec des compositions précédemment publiées par les mêmes auteurs en 1992 qui ont trouvé terpinèn-4-ol et linalol comme composés majoritaires (Jantan et Goh 1992).

C. illicoides du Vietnam qui a la même odeur que *C. camphora* a été étudié (Giang, König, et Son 2006). Les composés majoritaires sont l'eugénol (41%), le terpinèn-4-ol (10,4%). D'autres composés singuliers sont identifiés comme l'amorph-4-en-ol (1%), ou le 5-*epi*-aristolochène (0,3%) mais en quantités infimes.

Les huiles de feuilles et d'écorce de *C. subavenium* de Malaisie ont donné les résultats suivants. Les composés principaux identifiés dans l'huile de feuille sont l'alcool de patchouli (28%) et le benzoate de benzyle (20%), le β -sélinène (7%), le géraniol (4%) et le linalol (3%). Dans une étude menée quelques années plus tard, en 2008, les composés majoritaires des huiles de feuilles provenant d'arbres situés dans des villes différentes sont : méthyleugénol (75.9%), linalol (7.3%), et eugénol (6.6%); pour une et p-cymène (21.6%), 1,8-cinéole (16.5%), et linalol (11.9%) pour l'autre (Jantan, Muhammad, et al. 2005; Ho et al. 2008).

L'huile de feuille de *C. cassia* contient : du 2-hydroxycinnamaldéhyde, de la coumarine, du cinnamaldéhyde et de l'acétate de cinnamyle (Choi et al. 2001). L'huile de feuilles de *C. glaucescens* contient majoritairement de l'élémicine. *C. fragrans* contient α et β -pinène (8% et 10%), 1,8-cinéole (28%) et β -caryophyllène (13%). Les composés majoritaires de *C. angustifolium* sont : l' α -phellandrène, p-cymène, β -caryophyllène, 1,8-cinéole et l' α -pinène (Chalchat et Valade 2000).

Les composés présents dans plus de 2/3 des espèces sont : Torrèon, α -thujène, (Z)- β -ocimène, γ -muurolène, camphre, o-cymène et méthyl eugénol.

2.3. Genre *Cryptocarya*

Les huiles des feuilles de *Cryptocarya mandioccana*: contiennent majoritairement du β -caryophyllène (25%), spathuléol (10%), oxyde de caryophyllène (8%), δ -cadinène (7%), germacrène D (5%), benzaldéhyde et bicyclogermacrène (3%). Les compositions d'huiles obtenues par entraînement à la vapeur sont étudiées et on voit l'émergence de trois groupes chimiques dominés par la présence de trois molécules le β -caryophyllène (C), le germacrène D (G) et le bicyclogermacrène (B). Ces groupes sont considérés comme étant représentatifs de ce qu'il se passe dans la nature. Ci-après, les trois chémotypes isolés sont caractérisés par leur différence de teneur en sesquiterpènes précédemment cités : type CGB¹ [C (14-34%), G (5-28%), B (8-15%)], type BCG [B (17-34%), C (9-24%), G (12-25%)] et type GCB [G (22-42%), C (4-17%), B (Telascrea et al. 2007; Telascrea et al. 2008).

¹ C: cinnamaldéhyde – G: germacrène D – B: bicyclogermacrène

2.4. Genre *Licaria*

La composition des huiles de fruits, feuilles et écorces de *Licaria salicifolia* provenant de deux îles différentes (Grande Terre de Guadeloupe et Marie-Galante) a été étudiée. La composition chimique de l'huile des écorces reste la même, quel que soit l'écotype, majoritairement composée de p-cymène, α -phellandrène, 7-epi- α -sélinène, oxyde d'humulène II, α -cadinol et oxyde de caryophyllène. Ce n'est pas le cas des huiles issues des fruits et des feuilles. Pour les feuilles, 1,8-cinéole semble être le marqueur d'un écotype alors que l' α et le β -santalène semblent être celui du deuxième écotype contenant aussi du (E)- α -bergamotène, α -copaène, δ -cadinène, δ -sélinène et α -humulène. De même dans l'huile des fruits, le taux d' α -terpinène est plus important chez un écotype alors que celui d' α -phellandrène l'est dans l'autre. Dans le premier écotype, on trouve en majorité des santalènes et du (E)- α -bergamotène. L'huile des feuilles de *L. salicifolia* présente des monoterpènes, principalement des α et β -phellandrène et du p-cymène (Sylvestre et al. 2002).

Les compositions des huiles essentielles de *L. excelsa* et de *L. triandra* sont dominées par la présence de pinènes : α -pinène (43%, 41%) et β -pinène (22%, 29%). Elles ont la même teneur en germacrène D (2%), γ et δ -cadinène (1%), α -humulène (1%) et contiennent toutes deux en proportions non négligeables du (E)-caryophyllène, et du camphène. *L. excelsa* contient 17% de myrcène, contre 0,6% chez *triandra* (Palazzo et al. 2009).

L'huile de feuilles de *Licaria martiniana* est dominée par le β -caryophyllène et le sélinène. Notons la présence de la molécule d'isovalérate de linalol en quantité moyenne (6%) qui n'est présente que chez cette espèce dans toutes les études référencées dans notre littérature (Alcântara et al. 2010).

2.5. Genre *Ocotea*

Le genre *Ocotea*, très répandu en Guyane a été largement étudié en Amérique du Sud. Cependant, il existe peu de travaux sur des *Ocotea* présents en Guyane Française. En Guyane, une espèce très connue est *O. guianensis*, communément appelée cèdre argent.

Ocotea quixos, très utilisé en Amazonie émet une odeur de cannelle due à la présence d'acétate de cinnamyle et du cinnamaldéhyde. Ces molécules sont responsables de l'odeur de cannelle. Dans cette huile, des isomères du citral sont aussi présents en grande quantité (10%) (G. Sacchetti et al. 2006). Contrairement aux études précédemment effectuées, cette huile présente un très bas taux d'o-méthoxycinnamaldéhyde, de cinnamaldéhyde et de cinnamate de méthyle en comparaison avec des précédentes études (Naranjo et al. 1981) mais présente du 1-nitro-2-phényléthane. Cette molécule est également retrouvée chez *Aniba canelilla* (H.B.K.) Mez et *Ocotea pretiosa* (Nees) Mez. (Gottlieb et Magalhães 1959)

Les huiles essentielles des racines, branches, feuilles et fruits d'*Ocotea duckei* ont été analysées en rapport à leurs activités cardiovasculaires. Des différences conséquentes en *trans*-caryophyllène ont été observées: 60,54% de l'huile de fruits contre 0,61% pour la racine. Cette molécule est présente dans l'huile des fruits et des racines et n'est pas dans les deux autres parties de l'arbre (feuilles et branches). Le limonène est présent dans l'huile des fruits à 30,12% et à 6,65% de l'écorce mais pas dans les branches ni dans les feuilles. Les autres composés majoritaires de l'huile essentielle des fruits sont l' α -pinène et le β -pinène. Le β -eudesmol est le composé majoritaire de l'huile d'écorce il est aussi présent dans l'huile provenant des racines. Les composés majoritaires de cette huile sont de l'élémol et du β -élémane. L' α -pinène est le seul composé commun à toutes les huiles.

Les huiles de dix espèces d'*Ocotea* du Costa-Rica ont été étudiées (Takaku, Haber, et Setzer 2007). Les espèces de ce genre sont connues pour être source de néolignanes et de benzylisoquinone alcaloïdes. Dans cette étude seule une des dix espèces est une des espèces répertoriées en Guyane Française, il s'agit d'*O. floribunda*. Cette espèce par ailleurs montre un nombre important de diterpènes qui ne sont pas du tout présents chez les autres espèces en particulier, le kaurène. Ce qui est aussi intéressant est que sur ces dix espèces, il y a des molécules communes: α -pinène, β -pinène, β -élémane, β -caryophyllène, α -humulène, γ -cadinène, germacrène D, δ -cadinène et α -cadinol. Ce sont des composés qui sont aussi communs à deux autres espèces du genre et à cinq autres Lauracées. Dans la littérature il est indiqué que les phénylpropènes sont caractéristiques des *Ocotea*, cependant, elles ne sont pas présentes chez les *Ocotea* étudiées. Douze composés sont communs à plus de sept des espèces étudiées. L'huile d'*O. brenesii* est similaire aux huiles étudiées car elle est riche en spathulénol et globulol (Chaverri et Ciccio 2005). De même, l'huile d'*O. comoriensis* (Menut et al. 2002). Certaines différences subsistent avec des espèces déjà étudiées. En effet, les molécules responsables de l'odeur de cannelle c'est-à-dire, l'acétate de cinnamyle et le cinnamaldéhyde chez *O. quixos* (Renato Bruni et al. 2004) n'ont pas été trouvées dans cette étude. De plus le p-counamate est le composé majoritaire chez *O. foetens* (Pino et al. 2004).

2.6. Genre *Persea*

P. schiedeana contient principalement de l' α -pinène (24%), β -pinène (25%) et β -caryophyllène (21%). Pour *P. americana* var. *floccosa* and *P. americana* var. *steyermarkii* il s'agit de: α -pinène (11%, 8%), β -pinène (21%, 10%), α -terpinéol (9.6%, 7.9%), β -caryophyllène (13%, 8%), viridiflorène (0,1%, 10%) et globulol (0,1%, 9%). Les huiles de *P. americana* var. *nubigena* and *P. americana* var. *drymifolia* contiennent de l' α -terpinéol (18%, 39%) et du méthylchavicol (12%, 40%) comme composés majoritaires. *P. americana* var. *guatemalensis* est riche en β -caryophyllène (38%). Celles de *P. americana* var. *americana* et *P. primatogena* sont composées de: α -pinène (27%) et β -pinène (40.9%), et α -pinène (25%), β -caryophyllène (21%) et germacrène D (10%). L'espèce appelée « anisée » dans la publication contient du méthylchavicol (14%) et de l'anéthole (67%) comme composés majoritaires (Bergh, R.W. Scora, et Storey 1973; R.W. Scora et P.E. Scora

2000). Ces compositions sont différentes en termes quantitatifs de l'étude menée plus tard sur l'huile issue des feuilles de *Persea americana* (Ogunbinu et al. 2007). Les composés les plus abondants par ordre d'importance sont les suivants : β -caryophyllène (44%), valencène (16%), germacrène D (6%), α -humulène (5%), δ -cadinène (5%), β -cubébène (4%), oxyde de caryophyllène (3%) et spathulénol (3%).

P. indica de Californie présente des avocodofuranes en proportion importante (37%) dans l'huile essentielle de ses feuilles. Les composés les plus importants sont : le (E)-avocadiénofurane (16%), β -caryophyllène (18%), germacrène D (15%), (E)-avocadenynofurane (5%), et avocodofurane (5%). Cette huile est riche en sesquiterpènes, en effet, ils représentent 49 % de la composition de l'huile essentielle (Weyerstahl, Marschall, et R.W. Scora 1993).

L'huile des feuilles de *P. podadenia* du Mexique extraite par une méthode légèrement différente de l'hydrodistillation classique est riche en monoterpènes : α -pinène (20%), β -pinène (8%), δ -3-carène (16%), limonène (12%), myrcène (10%), camphène (9%) et α -phellandrène (8%) (P.E. Scora et al. 1996).

L'huile issue de *P. schiedana* contient principalement δ -cadinène (19%), α -copaène (15%) et (E)-caryophyllène (13%). Les autres composés sont le germacrène D (5%), τ -cadinol et α -cadinol (5%), (E)-cadina-1(6),4-diène, α -amorphène (3%), α -zingibérène, (Z)- β -guaiène (3%) (Palazzo et al. 2009).

Les compositions chimiques des huiles de ce genre sont relativement hétérogènes.

2.7. Genre *Rhodostemonodaphne*

La composition chimique d'une seule espèce de *Rhodostemonodaphne* a été décrite dans la littérature. L'huile provenant de feuilles de *Rhodostemonodaphne kunthiana* contient principalement les composés suivants : germacrène D (64%), bicyclogermacrène (18%) et spathulénol (5%) (Palazzo et al. 2009).

2.8. Composition Huile bois / Huile écorce

Les huiles extraites des feuilles des différentes espèces en revue présentent parfois de très grandes différences avec les huiles extraites des branches, des écorces ou du bois. Dans la perspective d'essayer de préfigurer les composés du bois à l'aide de ceux de l'écorce, nous nous sommes intéressés aux similitudes ou différences pouvant exister entre les huiles des bois et des écorces.

Seule une étude présente les huiles issues de ces deux organes. Les huiles de bois et d'écorce de *Cryptocarya massoy* ont une composition similaire en massoïa lactones C10 et C12 (80-90%), molécules caractéristiques du genre. La différence majeure réside dans la présence de benzoate de benzyle plus importante dans l'écorce (Rali, Wossa, et Leach 2007).

Notons que chez les *Aniba*, l'huile du bois et de l'écorce d'*A. rosaeodora* contiennent du linalol comme composé majoritaire. La molécule de 2,4,5-triméthoxyallylbenzène est le composé majoritaire de l'huile de bois et d'écorces d'*A. hostmanianna* (Morais et al. 1972). De même, l'huile de bois et l'huile d'écorce d'*Aniba riparia* présentent le même chémotype, benzoate de benzyle (Luz et al. 2002).

A partir de ces recherches bibliographiques, il est pour l'instant impossible d'étayer l'hypothèse de la présence des mêmes composés volatils dans l'écorce et dans le bois.

3. Variabilité de la composition chimique et existence de chémotypes

La composition des huiles essentielles étant le résultat du fonctionnement de la plante, elle est soumise aux mêmes influences que celle-ci. Ainsi, les compositions des huiles d'une même espèce peuvent varier en fonction de la localité, ou encore de la saison (Muller-Riebau et al. 1997). Ces composés sont appelés métabolites secondaires.

3.1. Chémotypes

Une étude intéressante souligne la problématique de l'existence de chémotypes au sein d'une même espèce botanique et la complexité de la correspondance entre nom vernaculaire et nom scientifique (Andrianoelisoa et al. 2006). À Madagascar, l'huile de feuilles de Ravensara est traditionnellement vendue pour l'aromathérapie. Les huiles du commerce étant dérivées de plusieurs espèces très différentes mais regroupées sous le même nom vernaculaire, les auteurs ont voulu clarifier cette dénomination. Ils ont donc produit l'huile des feuilles de 28 arbres identifiés formellement comme *Ravensara aromatica*. À l'issue de cette étude, ils ont pu constater que cette espèce possédait 4 chémotypes : méthylchavicol, méthyleugénol, sabinène/ α -terpinène/limonène, et sabinène/linalol/terpinène-4-ol. La raison invoquée pour ces différences est le déterminisme génétique, plus qu'un effet station.

De même, de nombreuses études sur les compositions des huiles extraites des feuilles de *Cinnamomum camphora* montrent l'existence de deux chémotype : 1,8-cinéole et camphre (Guo-Fang Zhang, Chen, et Zhao 2006). *Aniba riparia* présente aussi trois types chimiques (Luz et al. 2002).

La différence de composition chimique des huiles issues de feuilles est utilisée pour appuyer la différence botanique faite par Kochummen entre *Cinnamomum cordatum* et *Cinnamomum microphyllum* qui semblent très proches botaniquement mais ne le sont pas du tout chimiquement (Jantan et al. 2002).

La variabilité intraspécifique de *Cryptocarya mandiocanaa* été étudiée en regard des lieux de croissance des arbres (Telascrea et al. 2007). Il semble qu'un chémotype corresponde à un endroit de récolte dans l'état de São Paulo au Brésil. Les individus des types CGB et BCG ont une fréquence plus grande dans le Sud tandis que le type GCB est prédominant au Nord. Cela est, selon les auteurs, un peu plus complexe que le simple effet de terrain. En effet, un gradient

de précipitations, températures et altitudes sont un facteur important mais pas plus que l'adaptation génétique de ces arbres à leur environnement. En effet des études sur la variabilité génétique intraspécifique des mêmes individus ont corroboré l'existence de trois groupes correspondant aux groupes chimiques.

L'huile extraite des feuilles et des fruits de *Licaria salicifolia* semble présenter deux écotypes (Sylvestre et al. 2002).

3.2. Influence de la saisonnalité

Les zones tropicales se caractérisent par l'absence des quatre saisons connues dans les zones tempérées. Il existe, le plus souvent, une grande saison des pluies et une grande saison sèche. La première est caractérisée par une pluviométrie très importante en opposition à la deuxième. En saison humide elle varie de 80 à 90%. En saison sèche on enregistre des minima de l'ordre de 50% en début d'après-midi, et des pics d'humidité pouvant atteindre 100% le matin. Sur l'île de Cayenne, les précipitations mensuelles minimales sont d'environ 70 mm et les maximales de 470 mm. Ces variations pourraient influencer la composition chimique ou les rendements en huile.

La quantité de 1-nitro-2-phénylpentane contenue dans l'huile essentielle du bois d'*Aniba canelilla* augmente de la saison des pluies à la saison sèche, ceci, quel que soit le terrain alors qu'elle diminue dans les huiles obtenues à partir des feuilles ou des écorces (Taveira et al. 2003). Le rendement de l'huile issue des feuilles est plus élevé en saison des pluies qu'en saison sèche (0,8% contre 0,5%). C'est le contraire pour l'huile produite à partir des écorces ou à partir du bois. Le rendement et la composition de l'huile de feuilles de laurier semblent dépendre de la saison, ou plus précisément du stade végétatif de la plante (Muller-Riebau et al. 1997; Marzouki et al. 2009; Verdian-Rizi 2009).

Cependant, une étude menée en Australie sur la significativité de l'influence de la saisonnalité sur les compositions chimiques des huiles extraites de Lauracées indique que la différence la plus grande est celle existant entre individus d'une même espèce. On ne peut donc pas dégager une tendance pour la famille des Lauracées (Whiffin et Hyland 1989).

3.3. Effet « station »

Des espèces issues de deux terroirs différents peuvent présenter des huiles de composition et de rendement différents.

Dans le cas de l'espèce *Cinnamomum camphora* la variabilité du rendement en camphre de l'huile de feuilles a été attribuée principalement à la différence de sol et de saison de récolte (Guo-Fang Zhang, Chen, et Zhao 2006). Il y a aussi un autre paramètre tel que l'attaque de l'arbre par des champignons xylophages qui semble augmenter le rendement en camphre dans certaines études citées par l'auteur. De même, les huiles essentielles de feuilles de bois de Ho (*Cinnamomum camphora*) de Taïwan, du Japon, de Chine ou du Vietnam ne semblent pas contenir

la même quantité de linalol. Celle-ci varie de 34 à 95% (Naito 1943; Yoshida, Mauraki, et Kawamura 1969; Jantan et Goh 1992; Duñg et al. 1993). La variabilité du rendement en camphre serait due à l'environnement et au type de sol différent dans les divers pays (Guo-Fang Zhang, Chen, et Zhao 2006).

Le *Ravensara aromatica* présente des chémotypes indépendants des lieux de prélèvements (Andrianoelisoa et al. 2006; P.A.R. Ramanoelina, Rasoarahona, et Gaydou 2006; Andrianoelisoa et al. 2010).

L'espèce *Cryptocarya mandioccana* présente trois chémotypes qui semblent liés à la diversité génétique, elle-même en relation avec l'environnement. Certains chémotypes sont plus présents au Nord qu'au Sud du Brésil (Telascra et al. 2007).

Deux chémotypes, safrole et cinnamaldéhyde pour l'huile de feuilles de *Cinnamomum pauciflorum* ont été observés. Les spécimens produisant du safrole provenaient de Chine et ceux contenant le cinnamaldéhyde provenaient d'Inde. Les rendements en huile sont sensiblement les mêmes quel que soit le pays de récolte (Ying-Fang 1980; Nath, Hazarika, et A. Baruah 1996; Nath, A. Baruah, et Kanjilal 2006; Changsheng, Hong, et Zhijin 2007).

De même la différence de terroir est une hypothèse avancée pour justifier la différence de composition des huiles de feuilles de *C. verum* provenant d'Inde et des Iles Fidji. Mais aussi celle de la stabilité des composés étudiés. De même, le moment de récolte joue sûrement un rôle dans la variation de la composition (Nath et al. 1997; Patel et al. 2007).

L'étude sur l'huile des feuilles de *C. pubescens* ayant crû à deux endroits différents a mis en évidence la présence de 3 molécules majoritaires communes déjà citées précédemment et la variabilité quantitative de certaines molécules. Une des huiles présente 19% de salicylate de benzyle et l'autre 0,1% (Jantan, Yalvema, et al. 2005; Jantan et al. 2008).

L'influence du lieu de récolte est avérée dans l'étude de l'huile de feuilles de *C. subavenium* de Taïwan provenant de deux endroits différents (Ho et al. 2008). En effet les composés majoritaires concluent à l'existence de deux chémotypes dus à la différence de lieu de récolte: chémotype méthyleugénol et chémotype p-cymène, 1,8-cinéole. Ces compositions sont encore différentes de celle de l'étude sur des spécimens provenant de Malaisie (Jantan, Muhammad, et al. 2005).

Une publication précédemment citée a mis en évidence un dimorphisme foliaire chez *Licaria salicifolia* qui ne semble avoir aucune corrélation avec la composition chimique de ces huiles. Cette dernière reste invariable, quelque soit le type de feuille extrait. Les huiles des écorces ont montré une composition similaire quelque soit le biotope alors que ce n'est pas le cas pour les fruits et les feuilles. Le 1,8-cinéole semble être le marqueur d'un écotype alors que l' α et le β -santalène semblent être celui du deuxième écotype. Cela serait probablement dû à la différence de terrain. En effet, les rendements par partie varient du simple au double en fonction des terrains (Sylvestre et al. 2002).

L'huile essentielle de *Laurus nobilis* présente le 1,8-cinéole comme composé majoritaire en Tunisie (Bouzouita et al. 2001), en Sicile (Baratta et al. 1998) et en Turquie (Braun et al. 2001). Celle de Mongolie est dominée par la présence de méthylchavicol et de linalol (Shatar et Altantsetseg 2000). De même que l'huile des feuilles d'avocatiers (*Persea sp.*) provenant du Mexique qui contiennent toujours du méthylchavicol en opposition à celles provenant du Guatemala (R.W. Scora et P.E. Scora 2000). Cependant, l'étude de Marzouki n'indique aucun effet du lieu de récolte à l'intérieur du même pays (Marzouki et al. 2009), les huiles étudiées présentent bien le 1,8-cinéole comme composé majoritaire de même que précédemment observé par Bouzouita. Il en est de même dans une étude précédente (Muller-Riebau et al. 1997).

L'étude de la chémogéographie du genre *Aniba* en Amérique du Sud, révélant les deux profils évoqués auparavant, conclut à l'existence de deux voies évolutives qui ont pour conséquence les deux voies métaboliques observées et sont les deux types chimiques (Gottlieb et Kubitzki 1981a).

Toutes ces études suggèrent dans une certaine mesure que si un chémotype est dépendant d'une localité, cette spéciation serait plutôt due à une différenciation génétique antérieure plutôt qu'à une réelle différence dans la synthèse de ces composés au sein de la plante due au milieu. De plus, le stade végétatif de récolte de la plante emble avoir aussi une influence en termes de composition et de rendement des huiles.

III. Matériels et prélèvement des COV

1. Protocole

1.1. Lieux de prélèvements et échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés sur deux types de sites :

- Des parcelles à usage scientifique (Paracou, Piste de Saint-Elie, Bafog, Nouragues, Montagne Tortue, Acarouany). Sur ce type de parcelles, les arbres sont répertoriés à l'Herbier de Guyane et ne sont généralement pas abatables.
- En zone forestière dans des terrains situés sur la Route de l'Est (Bélizon, RN2), une trentaine d'arbres a été récoltée. Il a fallu prélever un rameau pour pouvoir faire une planche d'herbier afin d'identifier l'espèce.

Nous avons en plus, pu disposer des prélèvements effectués lors du programme BRIDGE. Ces prélèvements ont été effectués sur des parcelles à usage scientifique : aux Nouragues, à Paracou, sur la Montagne Tortue, au Bafog et sur l'Acarouany.

Pour les analyses de l'odeur des écorces, 156 individus ont été analysés. Cependant, seules les signatures chimiques de 121 de ces individus ont été retenues car nous avons été confrontés à des erreurs d'identifications ou à des impossibilités d'identification sur certains taxons prélevés.

Au total ces individus représentent 30 espèces appartenant aux genres *Aniba*, *Endlicheria*, *Licaria*, *Mezilaurus*, *Ocotea*, *Rhodostemonodaphne* et *Sextonia*. La liste de ces individus figure en annexe.

1.2. Méthodes de prélèvements

Les échantillons sont identifiés par un numéro de code de type « RR-L-XXX » qui est attribué à chaque individu. La liste des individus récoltés, leur identification et leurs stations d'origine figure en Annexe 7.

Le protocole d'échantillonnage est résumé dans le Tableau 10. Dans cette partie, il ne s'agira que des échantillons récoltés par les protocoles ligne 1, 4 et 5.

Echantillons récoltés	Parcelle scientifique	Récolte en aveugle (hors parcelle)	Traitement
1. Pastille de liber	X	X	Congélation à -20°C
2. Pastille de cambium	X	X	Dessiccation sur silicagel®
3. Bois	(X)	X	Séchage air libre
4. Bois pour distillation	-	X	(Séchage air libre →) Broyage → Congélation
5. Ecorce pour distillation	-	X	(Séchage air libre →) Broyage → Congélation
6. Herbier	Existant	X	Pressage et séchage

Tableau 10: Protocole d'échantillonnage

1.2.a. Parcelles à usage scientifique

Sur chaque individu, une pastille d'écorce interne d'environ 5 mm de diamètre est prélevée à l'aide d'un emporte-pièce puis introduite dans un pilulier ambré. Si la mission dure plusieurs jours, ce dernier est mis directement dans de la carboglace, puis au congélateur à -20°C. Dans le cas d'une mission d'une demi-journée, le pilulier est mis au congélateur directement lors du retour au laboratoire. Sur ce type de prélèvement, le cambium, assise génératrice, vient avec l'écorce interne. Ils sont par la suite séparés.

1.2.b. Récoltes hors parcelle

Sur ces parcelles, les arbres ne sont pas identifiés au préalable. Il s'agit de terrains situés sur la Route de l'Est (RN2) qui sont voués à la coupe à blanc et sur lesquels l'autorisation a été donnée de faire des prélèvements et de couper des arbres.

Sur ces arbres, le même type de prélèvement que sur des parcelles scientifiques a été effectué. Quelques kilogrammes de bois sont prélevés pour en extraire l'huile essentielle, et pour effectuer des analyses anatomiques. De plus, des rameaux sont mis sous presses afin de réaliser des herbiers pour une identification postérieure.



Figure 44: Protocole de prélèvement de l'écorce pour les analyses chromatographiques

2. Distillations

2.1. Préparation des échantillons

Une fois le matériel récolté, le bois et les écorces sont séparés. Les écorces sont nettoyées de leur mousse, champignons puis broyées à l'aide d'un broyeur thermique. Ensuite, elles sont conservées au congélateur en attente de broyage. S'il n'y a plus de place dans le congélateur, alors le bois est stocké sous forme de grumes en attendant un futur broyage et une distillation. Le protocole de récolte et d'analyse des échantillons destinés à la distillation est illustré Figure 45.



Figure 45: Protocole d'échantillonnage et d'analyse des bois destinés à l'extraction

2.2. Au laboratoire

Pour chaque individu 500g de sciure de bois et d'écorce sont soumis à une hydrodistillation pendant 3 heures dans un appareil de type Clevenger.

Le rendement est ensuite rapporté à la masse sèche de matière, le taux d'humidité étant lié au rendement par la formule suivante :

$$\eta = \frac{m_{HE}}{m} (1 + H)$$

m_{HE} :masse d'huile essentielle extraite

m :masse du matériel à distiller

H : humidité du bois distillé

L'humidité est calculée après 48h de séchage des sciures à distiller dans une enceinte climatique à $103^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

2.3. En quantités semi-industrielles

Six essais ont été effectués sur des quantités de bois supérieures à 10 kg dans un hydrodistillateur de type industriel à l'entreprise KLR. Ces distillations étant peu pratiques pour un screening, les autres essais ont été effectués au laboratoire.

3. Les analyses chimiques

3.1. Principe

Le but des analyses est d'obtenir des cartes d'identités chimiques spécifiques par une méthode rapide et non-destructive de l'arbre. Les composés volatils dégagés par l'écorce sont captés par une fibre SPME, puis injectés dans un appareil de chromatographie en phase gazeuse, couplé à un spectromètre de masse.

Le principe de la SPME est expliqué dans la partie 3.2 « La microextraction en phase solide », il permet de capter l'odeur des écorces. L'appareil de GC/MS dans lequel est injecté le mélange est composé de plusieurs parties. Le chromatographe en phase gazeuse (GC) permet de séparer les molécules contenues dans l'odeur des écorces en fonction principalement de leur poids moléculaire et leur polarité. Il est constitué d'un four programmable en température et d'une colonne dans laquelle le mélange de molécules à analyser est injecté. Le gaz à étudier est porté par un gaz vecteur, l'hélium.

Après passage par une ligne de transfert, les molécules sont détectées par un spectromètre de masse (MS), permettant ainsi de les identifier. Le spectromètre de masse ionise les molécules qui vont se décomposer en fragments caractéristiques de leur structure donnant ainsi le spectre de masse de la molécule. A la fin de l'analyse, un chromatogramme est généré. Il s'agit d'une suite de pics d'intensité plus ou moins faible en fonction du temps de sortie de la colonne. Chaque pic correspond théoriquement à une molécule décrite par son spectre de masse. Le dispositif est schématisé Figure 46.

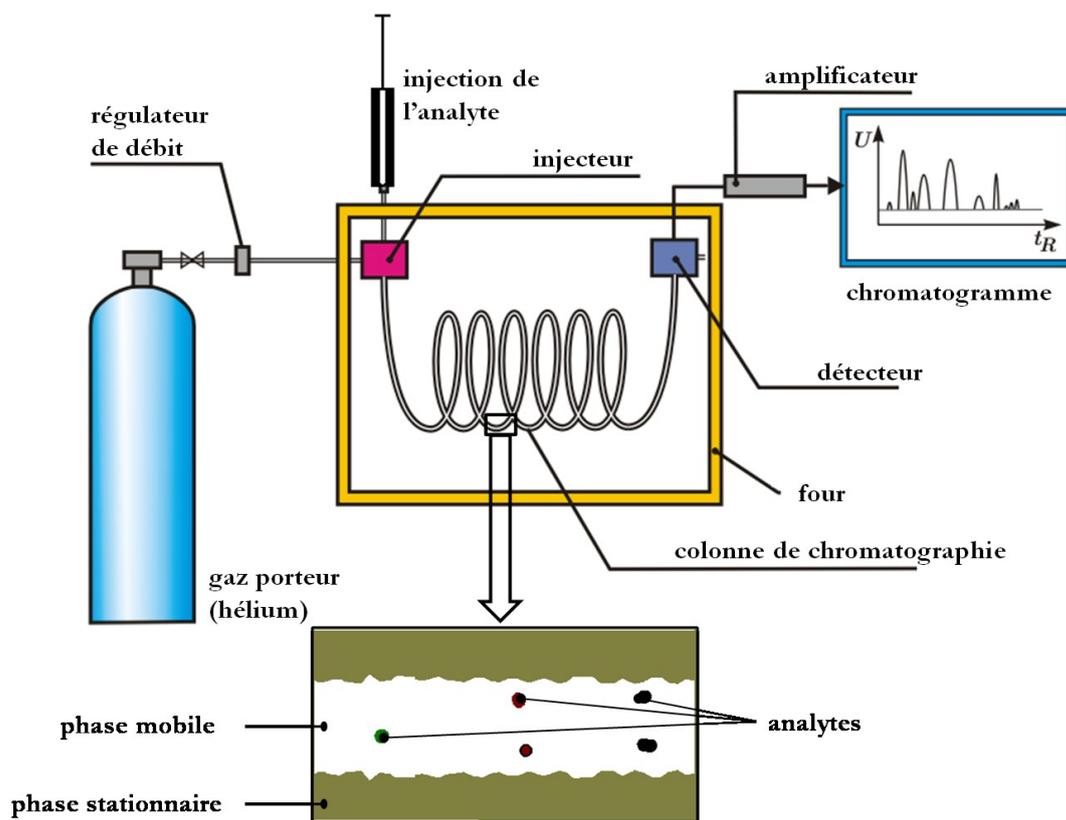


Figure 46: Schéma de principe du fonctionnement d'un chromatographe en phase gazeuse

3.2. La microextraction en phase solide

SPME est l'abréviation de **solid-phase microextraction**. Depuis les années 90, cette méthode d'extraction facile à mettre en œuvre et rapide a été très utilisée dans les analyses de l'eau, de l'air, du sol (Đurovic et al. 2010) et de la nourriture (Miller et Stuart 1999; Marsili 2000) voire dans l'industrie textile (Zhu et al. 2009). Sans solvant, elle permet de combiner la réduction du temps de l'étape de préparation des échantillons à analyser, tout en permettant une analyse de bonne qualité avec une technologie très sensible comme la spectrométrie de masse ou l'ionisation de flamme (Vas et Vekey 2004). La SPME peut s'effectuer dans deux milieux : gazeux ou liquide. Elle est aussi employable dans l'analyse des COV émis par les plantes (Tholl 2006; Tholl et al. 2006; Mayer, Schaber, et Hadacek 2008).

La première revue sur l'évolution technique de la SPME a été publiée en 2000 (Lord et Pawliszyn 2000). Le principe est de déposer une petite quantité de la phase à extraire sur un support solide ayant été exposé à l'échantillon à analyser. Lors de l'extraction en milieu gazeux, on prélèvera ce que l'on appelle l'espace de tête, composé des molécules dégagées par l'échantillon à analyser. Ce concept a été décrit en 1993 (Z. Zhang et Pawliszyn 1993). C'est ce type de prélèvement qui sera choisi pour les analyses. Cette extraction présente une meilleure résolution que l'analyse simple de l'espace de tête statique (Miller et Stuart 1999).

Le principe consiste en l'adsorption des composés à analyser sur le support puis leur désorption dans l'analyseur, dans notre cas la GC/MS. Une petite partie de la phase extractrice (fibre) est placée en contact avec la matrice de l'échantillon à extraire pour un laps de temps déterminé - Figure 47. Si ce temps est suffisamment long, un équilibre s'établit entre la fibre et la matrice. Une fois cet équilibre atteint, d'autres molécules ne pourront plus s'adsorber sur la fibre. Il faut que la composition de l'espace de tête soit à son équilibre avant extraction. C'est-à-dire que la composition de l'air dans le pilulier ne varie plus. Cependant, il faut éviter la saturation de la fibre en évitant de l'exposer trop longtemps dans l'espace de tête.

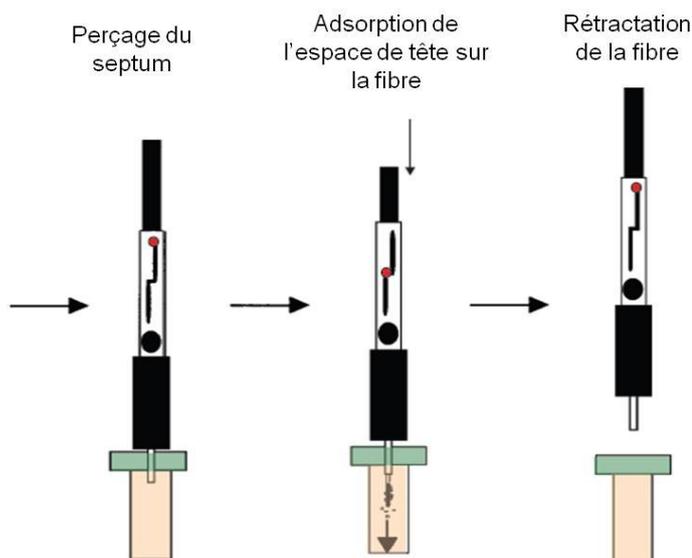


Figure 47: Procédé d'extraction de l'espace de tête par une fibre SPME selon SUPELCO™ (SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH sans date)

Le septum est percé par le porte-fibre. La fibre est sortie et les composés viennent d'adsorber dessus puis, on retire la fibre.

Un facteur important dans la qualité de l'analyse est aussi l'affinité de la fibre SPME avec les composés étudiés. La fibre choisie est une fibre PDMS/DVB. Il s'agit d'une fibre en polydiméthylsiloxane (apolaire) sur laquelle sont greffées des molécules de divinylbenzène – Figure 48. Ce type de fibre a été choisi car nous nous intéressons à des terpénoïdes et composés aromatiques de taille environ de 70 à 350 g.mol⁻¹ (SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH). Ces fibres sont efficaces dans l'adsorption des composés émis par les plantes (Guo et al. 2006; Bouvier-Brown et al. 2007). De plus l'étude de Roberts et al. (Roberts, Pollien, et Milo 2000) sur les composés volatils émis par des infusions de café a montré que cette fibre présentait la meilleure sensibilité à tous les composés analysés, notamment pour des alcools présents en petite quantité et des composés polaires peu volatils. D'autres études ont abouti aux mêmes conclusions dont celle de Miller et Stuart (Miller et Stuart 1999).

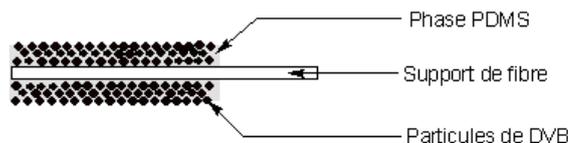


Figure 48: Structure d'une fibre SPME

L'adsorption est un phénomène physique par lequel les molécules sont captées par des sites actifs à la surface du polymère. Il n'y a pas de diffusion des molécules dans le polymère support. Il est illustré ci-dessous Figure 49. Ce procédé est compétitif car ce sont les molécules qui ont le plus d'affinités avec la fibre qui vont s'adsorber le plus vite, laissant ainsi moins de possibilités à des analytes de moindre affinité de s'y adsorber, même s'ils sont présents en plus grandes quantités. Le nombre de molécules adsorbées est limité par le nombre de sites actifs, ce qui a pour conséquence la non-linéarité de la relation entre la quantité de molécules adsorbées et leur concentration dans l'espace de tête (Müller, Górecki, et Pawliszyn 1999), ce qui rend difficile la quantification.

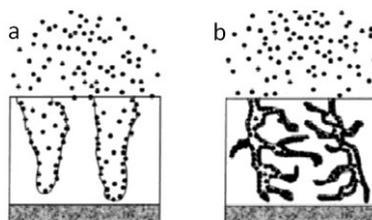


Figure 49: Phénomène d'adsorption sur pores larges (a) et sur pores étroits (b)

Si l'échantillon est trop concentré, il peut y avoir saturation de la fibre, auquel cas, on observe lors de l'analyse chromatographique, un pic de forme singulière comme sur la Figure 50. Si l'équilibre entre la fibre et l'espace de tête n'est pas atteint il est tout de même possible d'établir une méthode de quantification des molécules extraites par SPME dans des conditions non-équilibrées (Ai 1997).

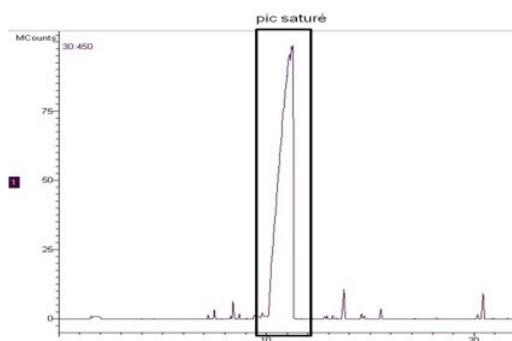


Figure 50: Aspect d'un pic saturé

La fibre PDMS est la plus efficace pour le stockage dans le temps (Müller, Górecki, et Pawliszyn 1999). En effet, les composés sont absorbés par la fibre et non adsorbés au contraire de la fibre PDMS/DVB. On peut augmenter la sensibilité de la fibre en diminuant la

température d'extraction sans pour autant changer la nature de la fibre (Lord et Pawliszyn 2000). Cela ne change pas la nature chimique de la fibre. De plus il faut faire attention à ce qu'il n'y ait pas de condensation à l'intérieur du pilulier ce qui peut biaiser le temps de rétention (Baker et al. 2001; Karbiwnyk et al. 2002).

4. Méthode d'analyse utilisée

4.1. Protocole

Après extraction des composés de l'espace de tête par la fibre SPME, le mélange à analyser est injecté dans l'appareil. Les analyses nous donnent un chromatogramme par individu. Les données contenues dans le chromatogramme sont exportées et traitées dans un fichier unique « Toutes Lauraceae %date ».

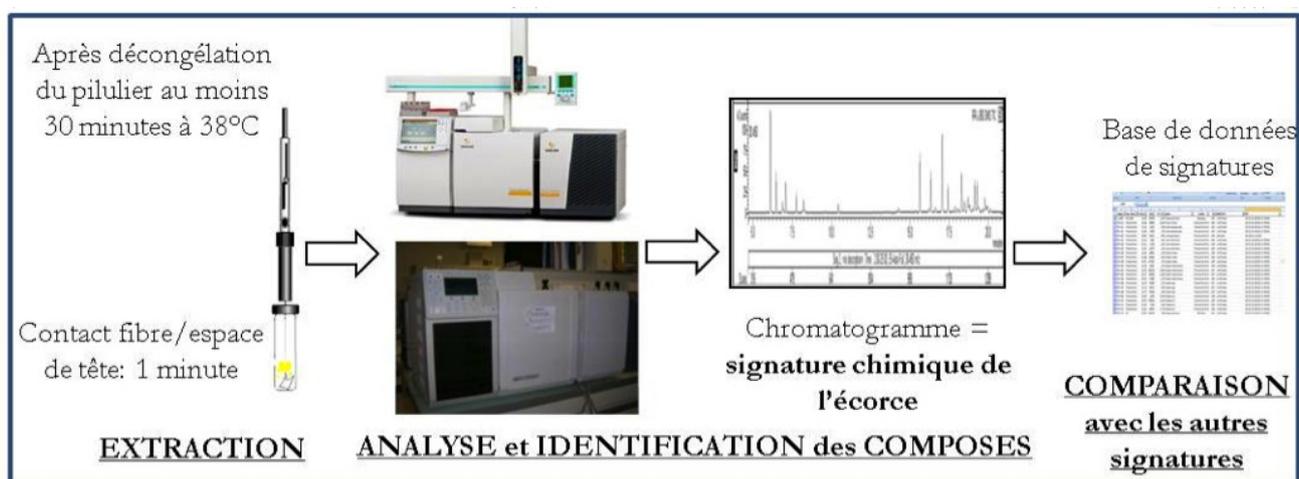


Figure 51: Protocole d'extraction et d'analyse des COV des écorces

4.2. Injections

Avant analyse, la fibre est conditionnée à haute température pour qu'elle puisse acquérir sa capacité adsorbante. Dans le cas de la fibre PDMS/DVB, le programme suivant est utilisé : 15 minutes à 200°C.

L'injection s'effectue comme une injection avec une seringue classique. Deux types de seringues SPME ont été utilisés :

- pour injection manuelle
- pour injection automatisée (pour passeur automatique Varian 8100/8200)

Des fibres de silice de type PDMS/DVB fournies par SUPELCO (Bellafonte, PA, USA), ont été utilisées pour les raisons citées précédemment. Elles supportent un pH allant de 2 à 11 et jusqu'à 270 °C. Préalablement au premier usage, les fibres sont conditionnées à 250°C pendant 30 minutes dans l'injecteur (recommandations du fabricant).

La désorption des molécules est effectuée dans l'injecteur à 250°C. Les temps de désorption du support sont relativement rapides pour des molécules de poids moléculaire allant de 400 à 1540. Seul le temps de réponse du détecteur (MS) est alors le facteur limitant de l'analyse (Pawliszyn et Liu 1987).

4.2.a. *Injections manuelles*

Les échantillons d'écorce sont stockés dans des vials fournis par SIGMA-ALDRICH. Ils sont ambrés, de contenance 10 ml (SU860098) ou 20 ml (SU860100), et se ferment par des bouchons à vis de filetage 18 mm. Les bouchons sont magnétiques avec un septum fait de PTFE et silicone d'épaisseur 1,5 mm (SU860103). Lors de la récolte, ils sont numérotés et placés dans la carboglace. Les piluliers sont mis à l'équilibre à 38°C dans une enceinte climatique au moins 1h00 avant analyse. Après une adsorption de 1 seconde, la fibre est insérée immédiatement dans l'injecteur de la chromatographie en phase gazeuse.

L'appareil utilisé pour l'analyse est une chromatographie en phase gazeuse Varian 3800 couplée à un spectromètre de masse Saturn 2000 (Varian Instruments, Sunnyvale, CA, SA) à trappe à ions. La colonne est une colonne non-polaire Varian de type DB-5 (30 m x 0,25mm ID, épaisseur de la couche de silice 0,25 µm), communément utilisée pour l'analyse des composés volatils organiques (Tholl et al. 2006). Le gaz vecteur est l'hélium, injecté à un flux constant de 1 ml/min.

4.2.b. *Injections automatiques*

Le protocole d'échantillonnage est le même que pour les injections manuelles. La machine utilisée étant équipée d'un passeur automatique, le programme de préparation de l'échantillon est le suivant : 2 secondes d'agitation à 500 tr/min puis 30 minutes à 38 °C. Le temps d'extraction varie de 2 à 20 secondes puis la fibre est introduite dans l'injecteur à 250°C et y reste 10 minutes.

L'appareil utilisé pour l'analyse est une chromatographie en phase gazeuse Varian 450-GC couplée à un spectromètre de masse Saturn 240-MS 4000 (Varian Instruments, Sunnyvale, CA, SA) équipée d'une trappe à ions. La colonne est une colonne non-polaire Varian de type DB-5 (30 mx0,25 mm ID, épaisseur de la couche de silice 0,25 µm), communément utilisée pour l'analyse des composés volatils organiques (Tholl et al. 2006). Le gaz vecteur est l'hélium, injecté à un flux constant de 1 ml/min.

4.3. **Programmation de la GC/MS**

Le même programme que Courtois et al.(Courtois et al. 2009) a été utilisé pour les injections manuelles. Puis, suivant les conseils du fabricant, le programme split de départ a été modifié pour les injections automatiques pour éviter les pollutions lorsque l'échantillon est peu concentré. Le gaz vecteur est l'hélium à 1 ml/min.

Le split initial est activé. Puis retiré entre $t=0,01$ s et $t=0,5$ s pour ne pas perdre de volatils. Il est réglé à 100 jusqu'à $t=6$ min, cela permet de nettoyer la fibre puis il est enlevé.

Le programme de température figure dans la table ci-dessous (Tableau 11).

Temp. (°C)	Taux (°C/min)	Palier (min)	Total (min)
50	0.0	0.00	0.00
140	6.0	0.00	15.00
160	4.0	1.00	21.00
200	10.0	0.00	25.00

Tableau 11: Programme de températures de la colonne

Le spectromètre de masse commence à acquérir des données à partir de t=3 min pour des fragments de rapport m/z compris entre 10 et 450.

IV. Traitement des données

Le traitement des données se fait sur le logiciel MS Workstation version 6.9.2. Le chromatogramme est nettoyé des bruits de fond. Puis les pics sont intégrés. Seuls les pics présentant une aire supérieure à 0,1% du plus grand pic de l'analyse (RA) ou un pic supérieur à 5kCounts sont considérés. Les molécules ont été identifiées avec l'aide du Professeur Jean-Marie BESSIERE du Centre d'Ecologie Fonctionnelle Evolutive du CNRS (UMR 5175).

1. Tableau « Toutes Lauracées »

A l'aide d'une macro écrite en VBA pour Excel, les aires relatives des pics, les indices de Kovats sont calculées (explications ci-dessous). Puis, ces informations sont consignées dans un tableau du type *Tableau 12*.

Analysis	Sample	RT (min.)	Area	R. P. A.	Species	Location	KI	Molécules	Peaks
BR_0288	P01860338	19,248	201044	31%	Sextonia rubra	Paracou	1500	(Z)- α -bisabolene	91 (
BR_0288	P01860338	16,321	644362	100%	Sextonia rubra	Paracou	1379	α -copaène	161

Tableau 12: Tableau d'entrée des données de GC/MS

Les intitulés des colonnes sont explicités dans le Tableau 13. L'exportation du logiciel MS DataViewer nous donne les informations suivantes : RT, Area, Peaks (en orange). Les cases en italique correspondent à des grandeurs calculées.

<i>Analysis</i>	Numéro d'analyse (RR-L-%=mes échantillons ; BR-%=échantillons BRIDGE)
<i>Sample</i>	Numéro de l'arbre sur le terrain
<i>RT (min)</i>	Temps de rétention du pic sur le chromatogramme
<i>Area</i>	Aire du pic
<i>R.A.</i>	Relative Area. Proportion de la molécule dans le bouquet floral
<i>Species</i>	Nom de l'espèce
<i>Location</i>	Lieu de prélèvement
<i>KI</i>	Indice de Kovats
<i>Molecules</i>	Nom de la molécule
<i>Type</i>	Type chimique (10 classes au total)
<i>Peaks</i>	Pics caractéristiques de la molécule observés sur le spectre de masse
<i>Apparatus</i>	GC1 : Varian 3800 Saturn 2000 – GC2 : Varian 450-GC Saturn 240-MS 4000

Tableau 13: Signification des intitulés du tableau « Toutes Lauraceae »

1.1. R.A.

Les aires relatives des pics par rapport au bouquet floral sont calculées de façon automatique par un programme compilé sous VBA pour Excel.

1.2. Indices de Kovats

Calculer les indices de Kovats permet d'aider à l'identification des molécules (Kovats 1958). Ces indices sont indépendants du programme de température de la colonne de chromatographie en phase gazeuse au contraire du temps de rétention et de l'appareil. Ils sont tout de même dépendants du type de colonne. Ces indices sont calculés grâce aux temps de rétention d'alcane non-ramifiés obtenus en injectant un mélange standardisé d'alcane de C₈ à C₂₀ avec le programme de température considéré. Ces alcanes sont utilisés comme référence car ils sont apolaires, inertes chimiquement et solubles dans la plupart des phases stationnaires des colonnes. Il se calcule de la façon suivante :

$$KI = 100 \times C_n + 100 \times \left(\frac{RT_i - RT_n}{RT_{n+1} - RT_n} \right)$$

C_n = Nombre de carbones de l'alcane précédent
 RT_i = Temps de rétention de la molécule considérée
 RT_n = Temps de rétention de l'alcane précédent
 RT_{n+1} = Temps de rétention de l'alcane suivant

Pour la suite, nous ne nous sommes intéressés qu'aux pics de RA supérieur à 0,5%, les autres ayant été jugés comme facilement inobservables lors de l'identification des molécules.

2. Analyses avec le logiciel PAST

Les tests statistiques pratiqués sont les mêmes que ceux utilisés dans la partie ANATOMIE, c'est-à-dire analyse NMDS, ACP, SIMPER et ANOSIM. La matrice d'entrée est de taille « nombre d'individus x nombre de molécules ». En ligne figurent les individus et en colonne, les molécules.

Tout comme dans la première partie, il a fallu se poser la question du choix de la nature des données. Afin de choisir si on travaille avec les données d'abondance ou des classes correspondant à un seuil, les deux jeux de données ont été testés.

2.1. Données de type abondances

Les données de RA bruts supérieurs à 0,5% du bouquet floral ont été analysées avec la distance de Bray-Curtis (Bray et Curtis 1957). Elle correspond à une distance de Manhattan modifiée. La somme des différences entre les variables est normalisée par la somme des variables des objets. Elle se calcule comme suit :

$$d_{i,j} = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} |y_{i,k} - y_{j,k}|}{\sum_{k=0}^{n-1} (y_{i,k} + y_{j,k})}$$

d : distance entre les objets i et j
k : indice de la variable
n : nombre total de variables y

Plus cet indice est grand, plus la distance entre individus est grande.

Cette distance donne de l'importance aux grandes valeurs et sont donc plus discriminantes. Elle n'est pas affectée par l'absence conjointe.

Afin de les adapter à l'analyse, les données sont normalisées grâce à la fonction arcsinus.

Le stress de l'analyse est de 0,32, les R² selon l'axe 1 et 2 sont respectivement de 0,29 et 0,22. Les différences entre genres sont significatives à l'exception des différences entre *Mezilaurus* et tous les autres genres et *Rhodostemonodaphne* et *Endlicheria* ainsi qu'entre *Sextonia* et *Ocotea*.

2.2. Données de type classes

Des classes ont été attribuées en fonction de la valeur du R.A. Un nombre de 5 classes a été défini au départ, en essayant de mettre dans chaque classe le même nombre de valeurs (Tableau 14).

CLASSE	MIN	MAX	EFFECTIF
1	1,0%	2,4%	646
2	2,5%	4,9%	624
3	5,0%	10,3%	614
4	10,4%	25,8%	601
5	25,9%	100,0%	517

Tableau 14 : Correspondance classe / R.A.

Une espèce chimique de classe 5 est donc considérée comme majoritaire. Ces données de type ordinales sont analysées avec l'indice de Gower.

Le stress de l'analyse est de 0,29 les R^2 selon l'axe 1 et 2 sont respectivement de 0,43 et 0,32. Les différences entre genres sont significatives à l'exception des différences entre *Mezilaurus* et tous les autres genres et *Rhodostemonodaphne* et *Endlicheria* ainsi qu'entre *Sextonia* et *Ocotea*.

La première source de données (RA) a été choisie car elle permet une meilleure conservation de l'information même si le stress est légèrement plus élevé. Les différences entre genres sont par ailleurs significatives.

V. Résultats

Notre but est d'établir des cartes d'identité chimique comprenant des molécules génériques (caractéristiques du genre) voire spécifiques (caractéristiques de l'espèce) pouvant aider à l'identification des Lauracées.

1. Diversité des composés volatils

1.1. Diversité quantitative

Le nombre de composé par espèce a été recensé, ce qui a mis en évidence des disparités en terme de quantité de composés émis (composés sensibles à la fibre SPME utilisée). Les codes couleurs sur la Figure 52 seront repris lors des analyses NMDS par genre.

L'espèce la plus riche en composés est l'espèce *Sextonia rubra* suivie de *Licaria cannella* (plus de 60 composés). Les plus pauvres sont *Ocotea subterminalis* cf. (19 composés) et *Ocotea argyrophylla* (21 composés). En moyenne, les genres présentant le plus grand nombre de composés sont, par ordre décroissant *Sextonia* (67), *Mezilaurus* (56), *Licaria* (55). Le genre *Rhodostemonodaphne* est assez riche lui aussi (42), suivi par les autres genres présentant une trentaine de composés en moyenne : *Ocotea* (38), *Aniba* (38) et *Endlicheria* (33). D'après nos données, aucune corrélation ne semble exister entre le nombre de composés et le diamètre ou l'âge de l'arbre.

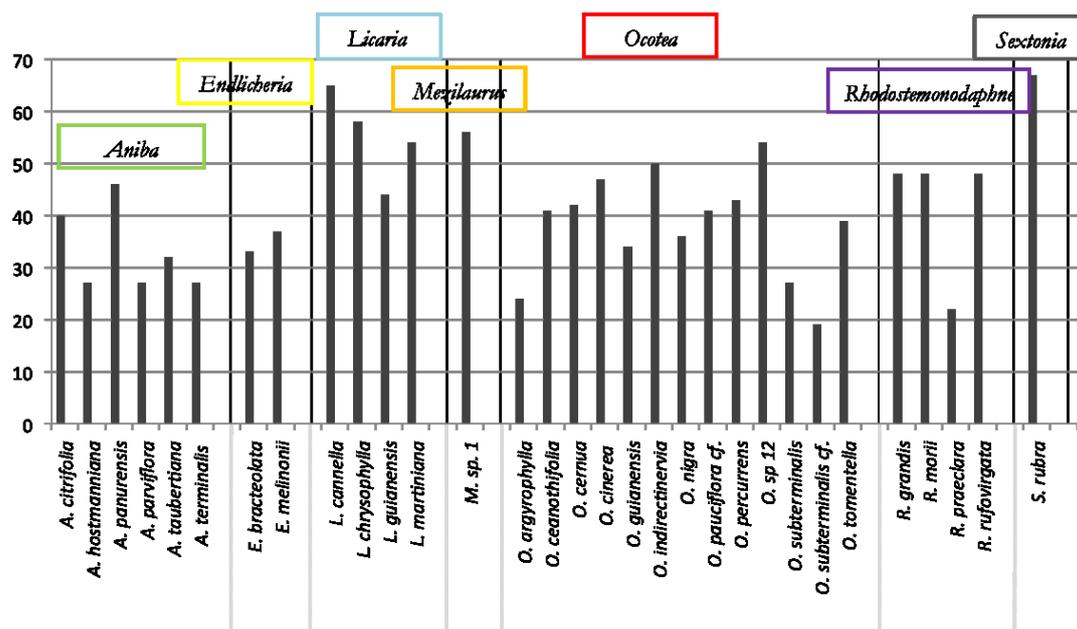


Figure 52: Nombre de molécules par espèce

1.2. Diversité qualitative

Chaque molécule identifiée a été classée selon sa famille chimique et en fonction des différentes voies de biosynthèse recensées à ce jour. Les classes de composés sont les suivantes : monoterpène acyclique, monoterpène bicyclique, monoterpène tricyclique, monoterpène de type p-menthane, benzénoïdes - phénylpropanoïdes, sesquiterpènes cycliques, sesquiterpènes acycliques, monoterpènes oxygénés, composés aliphatiques oxygénés et sesquiterpènes oxygénés.

Les profils des genres sont dominés de façon générale par des sesquiterpènes cycliques (Figure 53). Ces sesquiterpènes représentent de 50 à 70% des composés observés. Leur nombre varie de 30 (*Endlicheria*) à plus de 60 (*Ocotea*).

Sur la Figure 53 b, la part de ces composés a été enlevée afin d'affiner les observations, ce qui permet de remarquer que trois types de profils se dégagent. Les profils dominés par les composés oxygénés sesquiterpéniques dont la proportion est supérieure à 25% (*Licaria*, *Endlicheria*, *Ocotea* et *Rhodostemonodaphne*). Un autre profil dans lequel les composés monoterpéniques représentent plus de 50% (*Aniba*, *Mezilaurus*, *Sextonia*) et le profil d'*Endlicheria* qui est particulier car il présente une grande proportion de composés monoterpéniques oxygénés. Notons que *Rhodostemonodaphne* est à cheval sur les deux premiers profils car montre plus de 25% de ses composés oxygénés sesquiterpéniques et 50% de composés monoterpéniques.

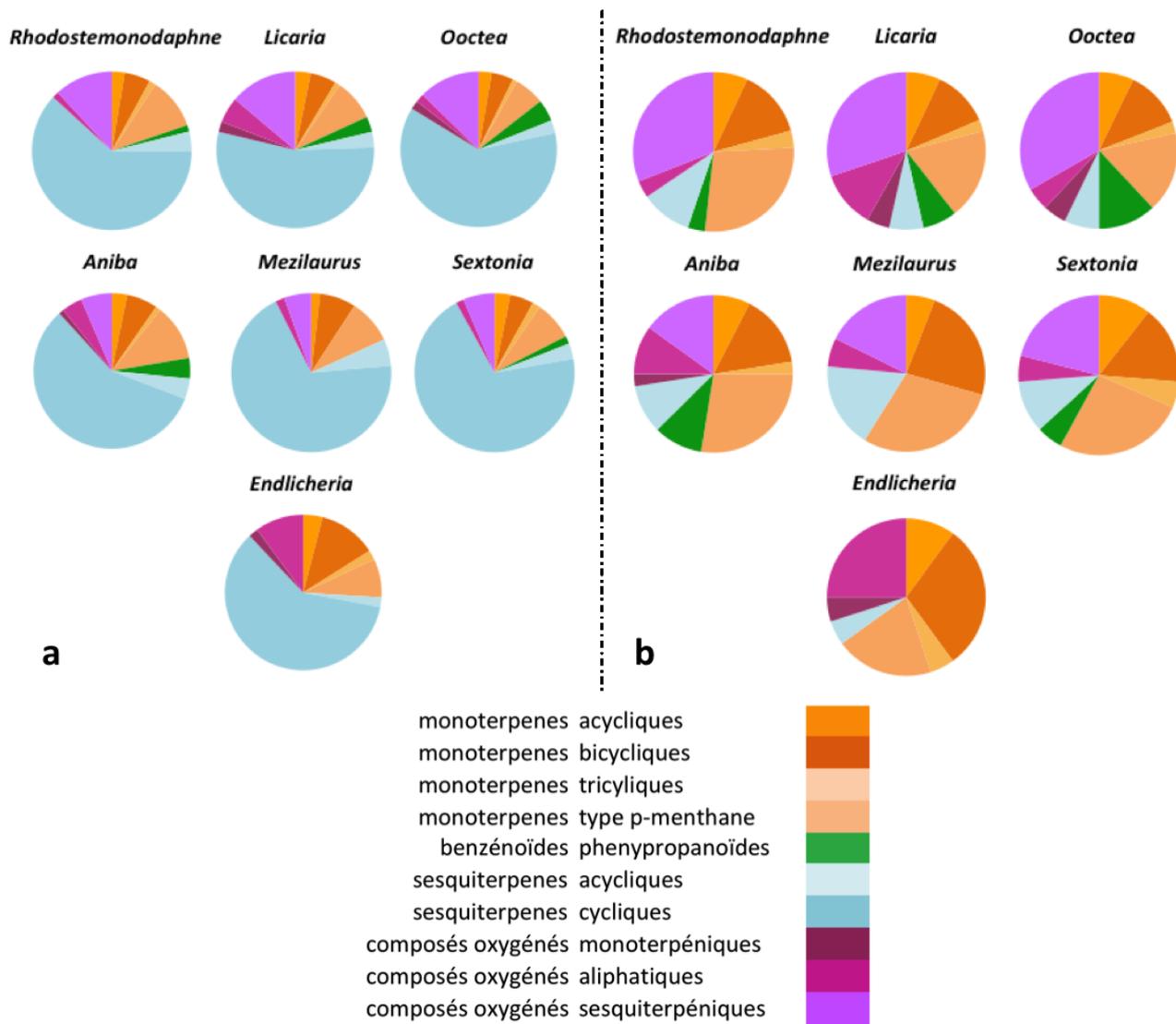


Figure 53: Répartition des familles chimiques en fonction des genres avec (a) et sans (b) les sesquiterpènes cycliques

1.3. Analyse statistique

Les proportions du type de composés au sein de chaque genre sont analysées afin de d'observer les types chimiques qui pourraient être impliqués dans la distinction des genres. L'analyse globale en NMDS ne permet pas de les distinguer. Cependant, les stress peu élevé (0,10) et le bon indice de corrélation sur le premier axe ($A_1 : 0,90$ et $A_2 : 0,1$) nous indiquent que ce critère (type chimique) peut être un critère discriminant, avant même la molécule. Les différences entre genres ne sont pas significatives (ANOSIM). Par ordre d'importance dans la différence, il y a les sesquiterpènes cycliques, les monoterpènes de type p-menthane, les monoterpènes bicycliques, les sesquiterpènes oxygénés, les monoterpènes acycliques, les sesquiterpènes acycliques, les monoterpènes tricycliques, les composés benzéniques ou dérivés de la phénylalanine enfin, les composés aliphatiques oxygénés. De plus, le nombre moyen de composés par espèce est un caractère discriminant de plus pour l'analyse multivariée (Stress : 0,01 – $A_1 : 0,99$ – $A_2 : 0,1$), donnant ainsi des genres relativement bien distincts sur la Figure 54.

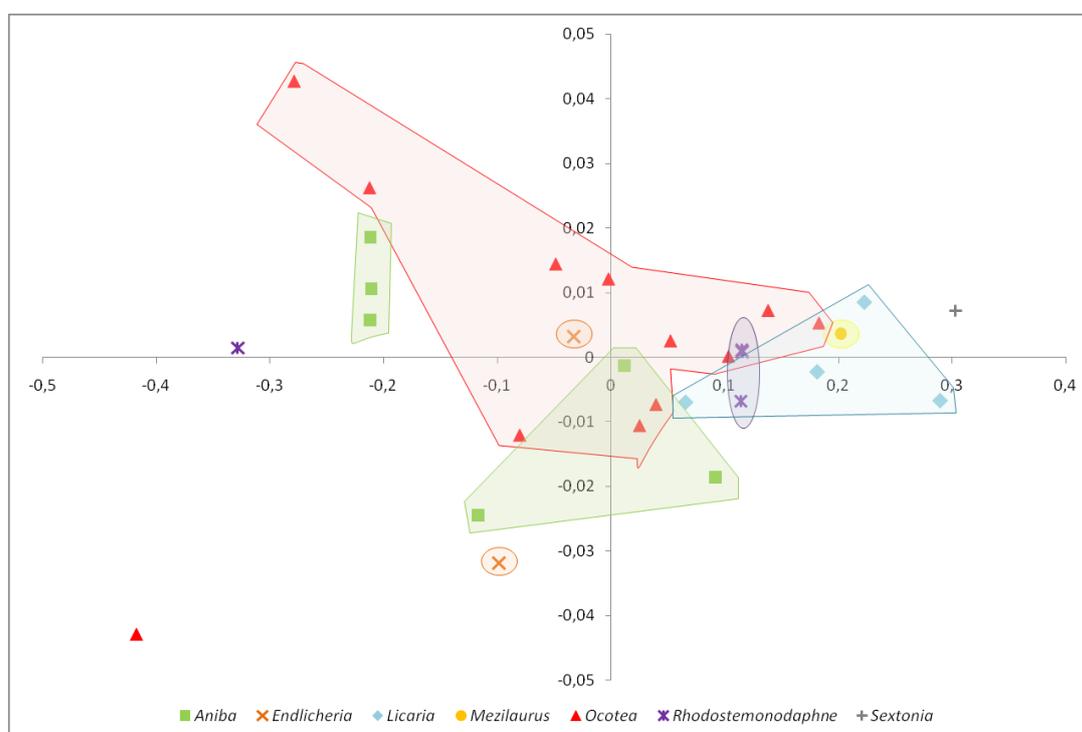


Figure 54: Analyse NMDS sur les types chimiques et la richesse en composés (un point par espèce)

2. Choix des molécules « pertinentes »

Différentes approches ont été tentées afin de sélectionner les molécules les plus informatives pour l'identification.

2.1. Traitement « brut » des données

Le tableau croisé de molécules X analyses est traité tel quel dans PAST avec une couleur par espèce, le but étant de distinguer chacune d'elles. Cette analyse montre qu'il est impossible de traiter les données en l'état (Figure 55). Des questions se posent alors sur l'adéquation entre cette méthode d'analyse très fine et l'objectif d'identification. Il se pourrait que la méthode d'analyse des COV par GC/MS soit trop fine pour permettre de distinguer d'emblée les espèces.

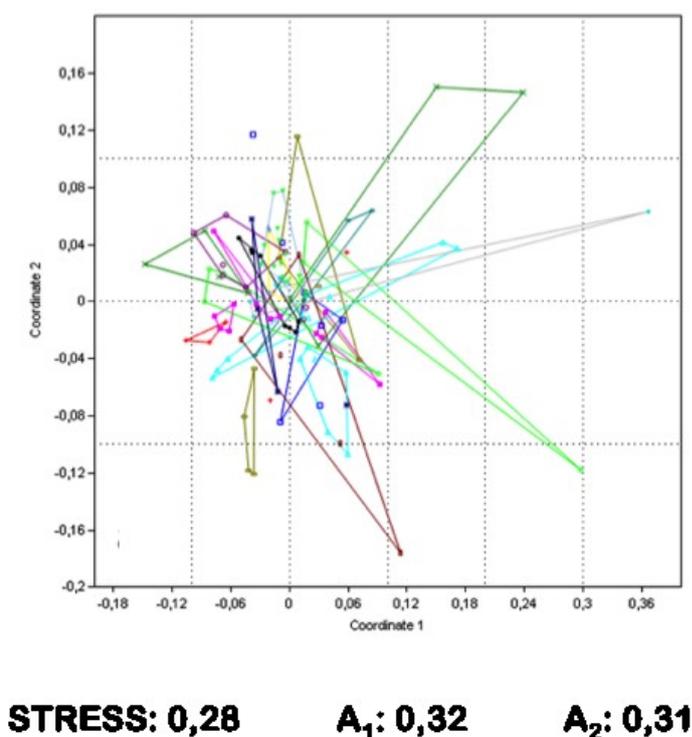
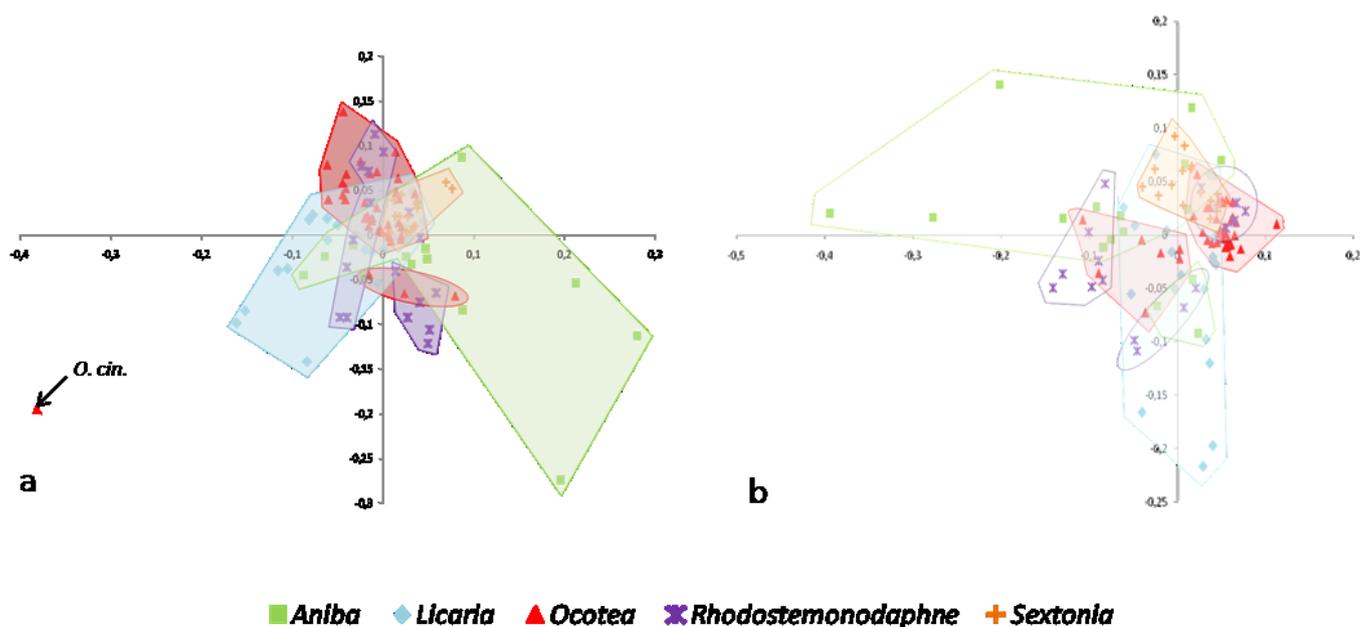


Figure 55: Analyse NMDS par espèces

Etant donné qu'avec les données brutes, la distinction des espèces n'est pas possible, nous avons essayé de réduire l'analyse aux genres. Ces genres ne semblent pas être distinctibles les uns des autres. Une ANOSIM indique cependant que les différences entre genres sont significatives ($R=0,3233 - p>10^{-4}$) entre presque tous les genres sauf entre *Aniba* vs *Licaria* et *Endlicheria* et entre *Endlicheria* et *Ocotea*. Par la suite, les genres *Endlicheria* et *Mezilaurus* sont enlevés des analyses statistiques car ils présentent trop peu d'échantillons et cela biaise les résultats, les autres genres sont appelés genres majoritaires.

Les résultats sont affinés en effectuant l'analyse avec les molécules responsables de 94% de la variance entre genres, soit 74 molécules sur 203. Cela permet de réduire le nombre de molécules sans perdre de la significativité et donc de travailler avec les molécules les plus informatives. Ce seuil de 94% a été déterminé en faisant une ACP sur les composés. On observe que les genres se séparent mieux (Figure 56 a). L'ANOSIM ($R=0,302 - p<10^{-4}$) montre une différence significative entre tous les genres ($p>0,0294$) excepté entre *Ocotea* et *Rhodostemonodaphne* ($p=0,091$).



	STRESS	A1	A2
a	0,28	0,36	0,41
b	0,26	0,36	0,32

Figure 56: NMDS à 93,7% de la variance expliquée par les molécules "brutes" (a) et spécifiques (b)

2.2. Approche par molécules caractéristiques

Une autre façon de traiter les données, consiste à prendre en compte uniquement les molécules communes à tous les individus d'une espèce. Ce sont logiquement des molécules marqueurs des espèces et qui sont plus informatives que les molécules sélectionnées dans la partie 2.1., au hasard (molécules responsables de 94% de la variance). Ces molécules spécifiques sont au nombre de 78 molécules. De même que dans la partie 2.1, ces 78 molécules sont soumises à une ACP. Le seuil de significativité de l'ACP est de 92,4% de la variance, ce qui correspond à 43 molécules. Ces molécules sont réinjectées dans une analyse NMDS qui montre une discrimination légèrement meilleure (Figure 56 b) que précédemment. De plus, la différence entre tous les genres majoritaires est significative selon l'ANOSIM ($R=0,317 - p<10^{-4}$).

C'est donc ce jeu de 43 molécules caractéristiques de chaque espèce qui sera choisi pour les analyses statistiques et pour déterminer quelles sont les molécules les plus informatives au sein du genre puis de l'espèce.

3. Analyse des genres

Le but est de déterminer s'il existe une combinaison de molécules ou une molécule permettant de caractériser le genre. A partir des 43 molécules caractéristiques, seules les molécules uniquement présentes dans un genre ou absentes uniquement dans un genre ont été considérées comme les plus informatives. Les molécules considérées comme informatives au niveau générique sont au nombre de 29. Ces molécules sont listées dans le Tableau par ordre décroissant de contribution de la molécule à la différenciation entre genres. L'ordre est obtenu d'après l'analyse de SIMPER. Le benzène n'est trouvé qu'au sein du genre *Aniba*, de plus il est dégagé en quantité importante (11,8%). De même, le selina-4(15),6-d'ène n'est trouvé que chez les *Ocotea* (3%). Un genre pourrait se caractériser par l'absence d'une molécule par exemple, le genre *Sextonia* ne présente ni d' α -sélinène ni de δ -sélinène, de même pour le sabinène. Le genre *Licaria* va se caractériser par une absence d' α -ylangène et de δ -élémane.

Cependant, ces molécules ne sont pas des molécules génériques (spécifiques au genre). En effet, elles sont présentes uniquement chez certaines espèces du genre considéré et pas chez toutes les espèces. Par exemple, la pinocarvone, le myrtenal, l'(E)-verbénol et l'(E)-sabinol sont trouvés chez une seule espèce d'*Endlicheria* (*E. bracteolata*) et pas chez *E. melinonii*.

	<i>Aniba</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Licaria</i>	<i>Mezilaurus</i>	<i>Ocotea</i>	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>Sextonia</i>
delta-selinene	0,3%	4,0%	0,9%	9,2%	1,4%	9,4%	-
(E)-alpha-bergamotene	1,1%	-	5,7%	9,0%	0,5%	0,7%	2,4%
benzyl	11,8%	-	-	-	-	-	-
alpha-selinene	2,1%	1,1%	1,3%	4,7%	1,5%	5,4%	-
beta-cubebene	0,8%	0,8%	1,5%	-	4,1%	1,9%	1,6%
sabinene	0,9%	10,0%	0,8%	0,7%	0,5%	1,5%	-
alpha-ylangene	0,3%	1,2%	-	2,0%	1,6%	0,3%	4,2%
(E,E)-alpha-farnesene	2,0%	-	1,9%	2,8%	0,1%	0,2%	1,5%
delta-elemene	0,1%	0,1%	-	0,7%	1,4%	2,5%	1,8%
selina-4(15),6-diene	-	-	-	-	3,0%	-	-
(E)-beta-farnesene	0,3%	-	2,2%	0,1%	0,7%	0,1%	0,1%
1,8-cineole	2,2%	2,8%	0,6%	-	tr	0,3%	0,1%
7-epi-a-selinene	0,3%	4,9%	tr	-	0,6%	0,4%	0,3%
alpha-phellandrene	0,9%	0,2%	0,3%	-	0,4%	0,7%	0,2%
cadina-3,5-diene	0,1%	0,2%	0,3%	-	0,2%	0,6%	1,2%
selina-4,11-diene	0,4%	0,3%	0,2%	1,5%	0,2%	0,5%	-
(E)-cadina-1,4-diene	0,1%	0,1%	0,2%	-	0,5%	0,3%	0,7%
tricyclene	0,1%	0,1%	0,7%	-	0,1%	0,4%	0,1%
amorpha-4,7(11)-diene	0,4%	0,4%	0,2%	-	tr	0,6%	0,1%
(E)-beta-ocimene	-	-	-	-	0,6%	-	-
RL28	-	-	-	-	-	0,5%	-
rotundene	-	-	-	-	0,3%	-	-
beta-copaene	-	-	-	-	0,3%	-	-
(E)-beta-guaiene	-	-	-	-	0,1%	-	-
M57	-	-	-	-	0,1%	-	-
pinocarvone	-	0,3%	-	-	-	-	-
myrtenal	-	0,2%	-	-	-	-	-
(E)-sabinol	-	0,1%	-	-	-	-	-
(E)-verbenol	-	0,1%	-	-	-	-	-

Tableau 15: Molécules principalement responsables de la différences entre genres

Les pourcentages indiquent la proportion moyenne de chaque molécule au sein du genre. Ces valeurs proviennent de l'analyse de SIMPER.

Une analyse NMDS menée sur ces 29 molécules se révèle être mauvaise (stress=0,40, corrélations sur les axes inférieures à 17%). L'analyse d'ANOSIM ($R=0,3396 - p < 10^{-4}$) sur les genres en considérant ces 29 molécules montre des différences significatives entre les genres *Aniba*, *Licaria*, *Ocotea* et *Sextonia*, entre *Endlicheria* et *Ocotea*, entre *Endlicheria* et *Sextonia*, entre

Rhodostemonodaphne et les genres *Licaria*, *Ocotea* et *Sextonia*. ($p \leq 0,025$) Le genre *Mezilaurus* ne montre pas de différence significative avec les autres genres. Les valeurs des p sont indiquées dans le tableau.

	<i>Aniba</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Licaria</i>	<i>Mezilaurus</i>	<i>Ocotea</i>	<i>Rhodostemonodaphne</i>
<i>Aniba</i>	0					
<i>Endlicheria</i>	0,512	0				
<i>Licaria</i>	0,0003	0,0118	0			
<i>Mezilaurus</i>	0,6832	0,0377	0,4111	0		
<i>Ocotea</i>	0,0001	0,0016	0,0001	0,0138	0	
<i>Rhodostemonodaphne</i>	0,0025	0,0859	0,0012	0,3037	0,0001	0
<i>Sextonia</i>	0,0001	0,0008	0,0012	0,0239	0,0006	0,0001

Tableau 16 : Analyse ANOSIM menée sur les genres décrits par 29 molécules

Les couples correspondant aux valeurs de p en rouge sont différenciés de façon significative

Une autre analyse ANOSIM menée sur les 43 molécules pour distinguer les genres n'améliore pas la différenciation intergenres. Les 29 molécules sélectionnées sont donc suffisamment informatives pour distinguer certains genres.

Ce résultat n'est pas satisfaisant car l'idéal serait de pouvoir distinguer tous les genres les uns des autres. Toutefois, dans le cas d'une analyse multicritères, nous pouvons supposer avoir déterminé le genre avec une méthode et donc utiliser la méthode pour déterminer l'espèce. En partant de l'hypothèse que le genre est inconnu, nous allons essayer d'établir des cartes d'identité des espèces.

4. Etude intra-genre

Pour cette étude, sont uniquement considérées les molécules spécifiques à chaque espèce au sein d'un genre. En annexe, figurent les compositions chimiques des bouquets floraux détaillées.

4.1. Le genre *Aniba*

Six espèces ont été étudiées : *A. citrifolia* (2 individus), *A. hostmanniana* (2), *A. panurensis* (4), *A. parviflora* (4), *A. taubertiana* (2) et *A. terminalis* (3). Ce genre représente un panel de 100 molécules dont environ 50 % sont des sesquiterpènes cycliques, 10% des monoterpènes tricycliques, 6 à 7% des monoterpènes acycliques ou bicycliques, des composés oxygénés monoterpéniques et sesquiterpéniques. Ce genre semble caractérisé par la présence de benzène

au sein de certaines espèces et une proportion relativement moyenne de composés sesquiterpéniques cycliques (50% environ). De plus, la diversité en molécule est l'une des plus faibles, avec des bouquets floraux composés parfois d'une quinzaine de molécules seulement.

L'analyse NMDS (Figure 57) permet de voir que les espèces *A. taubertiana*, *A. citrifolia* et *A. hostmanniana* sont bien homogènes et regroupées. Un individu de l'espèce *A. terminalis* s'éloigne des deux autres beaucoup plus homogènes. Les *A. parviflora* forment deux groupes distincts, qui sont aussi distincts des autres espèces.

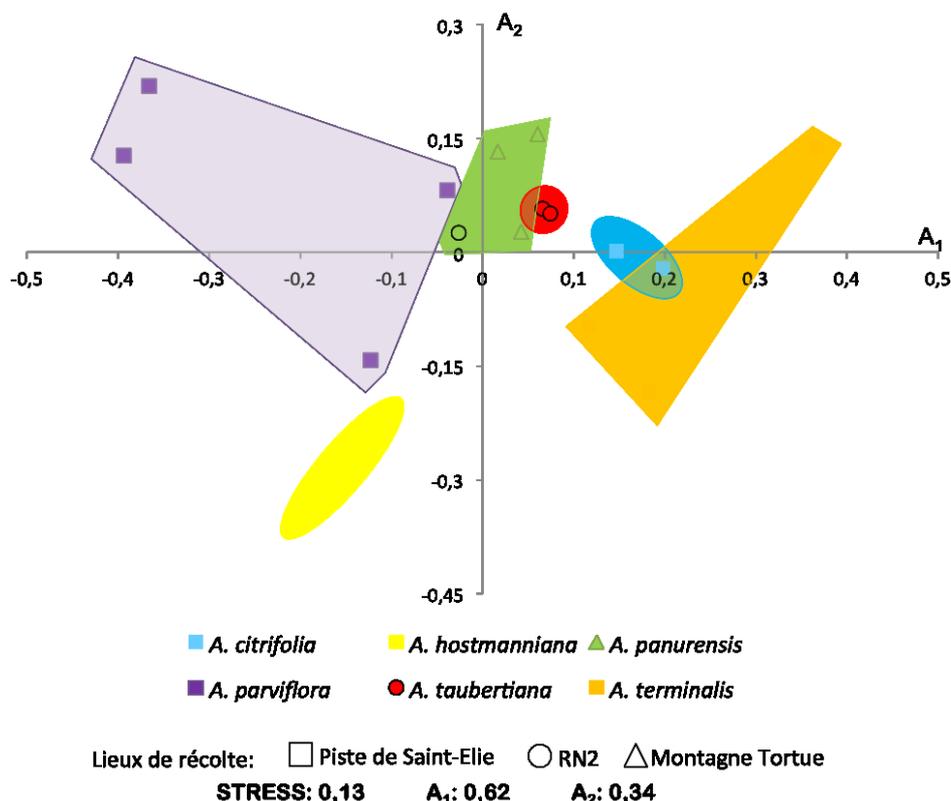


Figure 57: Analyse NMDS des Aniba avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A₁ (2) : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2)

L'observation des molécules caractéristiques (Tableau 17) permet de confirmer les proximités et éloignements observés sur l'analyse NMDS. Dans ce tableau, figurent les proportions du type de composés chimiques de chaque espèce ainsi que la liste des molécules dites caractéristiques.

En comparant tout d'abord le nombre de composés caractéristiques de chaque espèce (Tableau 17), l'espèce dont la composition du bouquet floral est la moins variable semble être *A. taubertiana* car elle montre une liste de composés caractéristiques plus longue que les autres et de natures chimiques variées, il en est de même pour *A. parviflora*. On peut supposer que l'espèce *A. terminalis* est chimiquement très diversifiée car seule une molécule est commune aux trois individus (α -cubébène). Il est à noter que la diversité de type chimique au sein de l'espèce ne se retrouve pas forcément dans les molécules caractéristiques. Ainsi, chez *A. hostmanniana*, toutes

les molécules caractéristiques sont des sesquiterpènes cycliques alors que 20% des molécules répertoriées sont de type monoterpénique. Le benzène est une molécule caractéristique des *A. parviflora* à un fort taux.

La proximité observée sur l'analyse NMDS des espèces *A. parviflora*, *A. taubertiana* et *A. citrifolia* se confirme à l'observation des empreintes chimiques caractéristiques des espèces. En effet, les espèces *A. taubertiana* et *A. panurensis* ont le limonène, le p-cymène, l' α -cubébène, l' α -copaène, l' α -pinène, le δ -cadinène et le sabinène comme molécules caractéristiques en commun qui montrent des taux similaires. Chez les *A. parviflora* les deux groupes observés montrent deux compositions différentes : un groupe d'un taux en benzène très élevé (80%) et un autre dans lequel les taux sont faibles (6%). Des études complémentaires sont nécessaires pour établir s'il s'agit de deux chémotypes ou d'une variabilité due à l'échantillonnage. Par conséquent, les deux « chémotypes » présentent au total peu de molécules communes (2). Chez *A. terminalis*, seule une molécule est commune aux 3 individus. Cependant, chez les deux individus les plus proches, 8 molécules sur 16 sont communes.

Une liste de 16 molécules (Tableau 18) prises parmi les molécules caractéristiques chez les espèces du genre *Aniba*, permet de décrire les espèces étudiées sauf dans le cas d'*A. terminalis*.

	<i>A. citrifolia</i>	<i>A. hostmanniana</i>	<i>A. panurensis</i>	<i>A. parviflora</i>	<i>A. taubertiana</i>	<i>A. terminalis</i>
alcool benzylique	-	-	3,4%	46,6%	-	-
α -copaène	2,9%	65,5%	3,3%	5,7%	6,3%	2,5%
p-cymène	-	-	16,6%	0,7%	11,9%	-
limonène	7,8%	1,0%	7,6%	3,2%	14,6%	1,9%
α -cubébène	10,8%	1,9%	7,1%	2,0%	10,5%	6,8%
α -pinène	0,4%	1,5%	8,4%	3,9%	5,8%	0,4%
δ -cadinène	0,4%	7,1%	3,9%	6,4%	1,5%	1,3%
1,8-cineole	1,1%	-	-	6,7%	4,3%	-
γ -amorphène	7,7%	4,2%	-	-	-	-
calaménène	0,4%	4,7%	1,8%	2,7%	0,3%	0,8%
α -humulène	0,7%	0,6%	0,5%	0,6%	2,2%	2,9%
sabinène	0,3%	-	2,9%	-	1,3%	0,2%
germacrène D	1,9%	0,8%	-	1,4%	-	-
β -cubébène	3,1%	0,4%	0,1%	0,5%	1,3%	0,3%
γ -muurolène	0,3%	2,9%	0,4%	0,5%	-	-
isodène	0,3%	1,5%	-	-	-	-

Tableau 18: Liste des molécules caractéristiques et proportions chez les *Aniba* étudiés

Les pourcentages indiquent l'abondance moyenne du composé au sein de l'espèce. Les chiffres en gras indiquent une abondance stable dont l'écart-type est inférieur à 5%.

Les molécules caractéristiques ne sont pas nécessairement les majoritaires par exemple, dans le cas d'*A. citrifolia*, l' α -cubébène et le limonène sont caractéristiques et présentent des valeurs stables (resp. 10,8% et 7,8%) mais la molécule majoritaire chez un des individus est le (E,E)- α -farnésène (34,3%), chez l'autre l' α -sélinène (15,4%) et le γ -amorphène (15,4%). Chez *A. hostmanniana* en revanche, la molécule majoritaire, l' α -copaène (65%) fait partie des caractéristiques, suivie de δ -cadinène (7,1%) et du calaménène (4,7%). Chez *A. parviflora* la molécule stable est l' α -pinène (3,9%), alors que le benzène présente un taux moyen élevé (46,6%) mais pas stable (taux élevé chez deux individus seulement). Chez *A. panurensis*, de nombreuses molécules montrent une stabilité telles que le p-cymène (16,6%), l' α -pinène (8,4%), le limonène (7,6%) et l' α -cubébène. Une analyse ANOSIM menée sur ces molécules ne montre pas de différences significatives ($R=0,4313 - p=0,014$). Un échantillonnage plus grand permettrait de pouvoir confirmer ou infirmer les réelles variabilités chimiques ou stabilités des espèces étudiées.

4.2. Le Genre *Licaria*

Ce genre est riche en molécules avec 109 composés recensés. Les espèces considérées sont *L. cannella* (9 individus), *L. chrysophylla* (4), *L. guianensis* (4), et *L. martiniana* (4). La moitié des molécules observée représente des sesquiterpènes acycliques et 29 sont caractéristiques des espèces étudiées.

L'analyse NMDS (Figure 58) menée sur les 29 molécules caractéristiques des espèces de *Licaria* tend à montrer qu'il existerait deux chémotypes de *L. cannella*. Nous pouvons supposer que cette séparation des *L. cannella* est due à un effet station. Les *L. chrysophylla* sont très dispersés. *Licaria martiniana* et *L. guianensis* sont bien séparés des autres espèces.

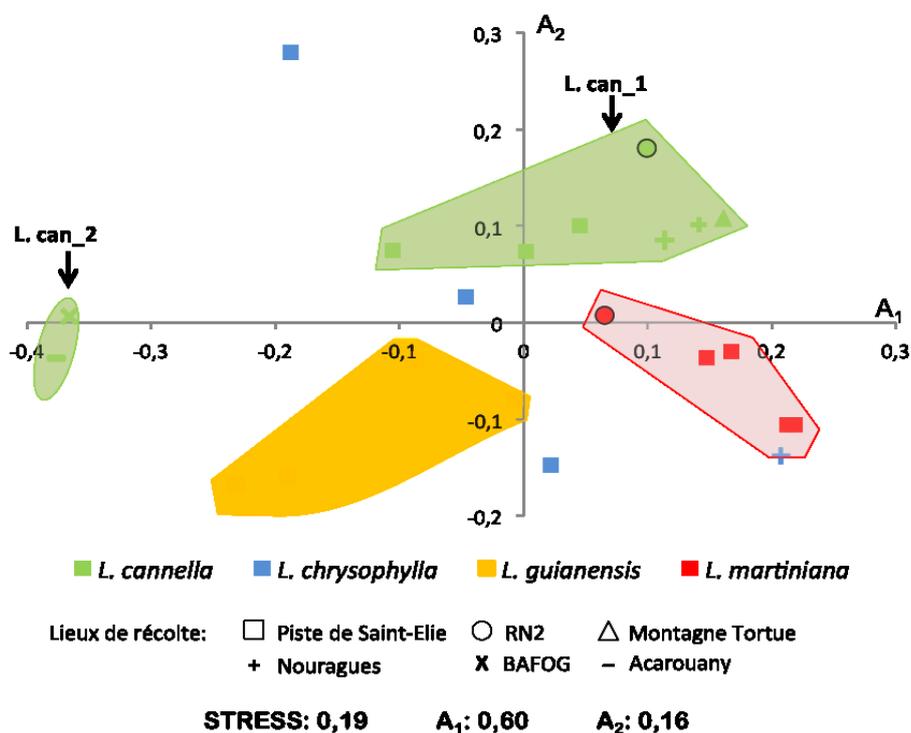


Figure 58: Analyse NMDS des *Licaria* avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A₁ (2) : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2)

Une ANOSIM (R=0,6818 – p=0,0293) entre les deux groupes de *L. cannella* observés sur la NMDS montre une différence significative (p=0,302). On qualifiera ces deux groupes de chémotypes. L'analyse ANOSIM (R=0,5523 – p=10⁻⁴) n'indique aucune différence significative entre les espèces (p<0,0945).

Au sein du Tableau 19, figurent les graphiques de répartition des familles chimiques par espèce de *Licaria* ainsi que les molécules caractéristiques. Les deux types de *L. cannella* ont été séparés. La différence majeure entre les deux chémotypes est la présence de composés benzénoïdes ou phénylpropanoïdes pour *L. cannella* 1 ainsi qu'une grande proportion de composés de type monoterpéniques (40% environ) alors que cette part est de moins de 25% chez *L. cannella* 2 et que la part des sesquiterpènes acycliques est plus grande (10% contre 5%).

La proportion de sesquiterpènes cycliques au sein des espèces est homogène, autour de 60%. Chez *L. martiniana*, il n'y a pas de sesquiterpènes acycliques contrairement aux autres espèces du genre, mais une bonne proportion de composés de type monoterpénique (~30%) qui est aussi retrouvée chez *L. cannella*. L'espèce *L. chrysophylla* présente un profil atypique de par sa richesse en composés oxygénés (en particulier, des sesquiterpènes oxygénés (17%). Cependant, ces composés atypiques ne se retrouvent pas dans l'empreinte chimique de l'espèce, de par le peu de molécules spécifiques, et la richesse en molécules de cette espèce (58 molécules inventoriées), on suppose une grande diversité dans les signatures chimiques de chaque arbre. Toutefois, les sesquiterpènes cycliques observés chez *L. cannella* 2 et *L. guianensis* font partie des molécules caractéristiques, il en est de même pour les composés de type p-menthane monoterpéniques chez *L. cannella* 2.

<i>L. cannella</i> n=7		<i>L. cannella_2</i> n=2		<i>L. gulanensis</i> n=4		<i>L. martiniana</i> n=5	
α -cubebene	17,1%	(E)- α -bergamotene	36,1%	α -cubebene	14,1%	β -caryophyllene	38,9%
α -copaene	7,0%	α -funebre	20,4%	α -cedrene	8,3%	α -cubebene	13,6%
δ -cadinene	6,4%	ar-curcumene	7,1%	(E,E)- α -farnesene	6,2%	α -copaene	11,3%
α -pinene	3,9%	(E)- β -farnesene	5,8%	α -copaene	6,2%	α -humulene	4,9%
β -caryophyllene	1,4%	(E,E)- α -farnesene	5,4%	(E)- α -bergamotene	6,0%	δ -cadinene	4,4%
		δ -3-carene	4,5%	(Z)- β -farnesene	5,5%	γ -cadinene	1,1%
		7-epi- α -cedrene	2,3%	α -humulene	4,9%	γ -muurolene	1,1%
		(Z)- β -farnesene	1,7%	α -santalene	4,6%	germacreneD	1,0%
		gamma-curcumene	1,6%	β -caryophyllene	4,5%		
		α -pinene	1,6%	(E)- β -farnesene	4,5%		
		α -cedrene	1,6%	(E)-epi- β -santalene	4,5%		
		o-cymene	1,0%	α -selinene	3,2%		
		p-cymene	0,9%	α -cadinene	2,8%		
		limonene	0,9%	δ -selinene	2,1%		
		β -caryophyllene	0,6%				

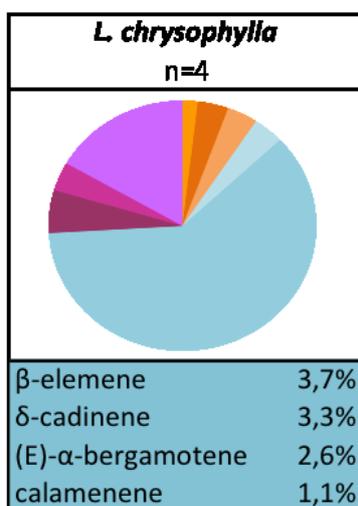


Tableau 19: Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez Licaria

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique.

Une vingtaine de molécules permet de caractériser les espèces de ce genre. La liste de ces molécules figure sur le Tableau 20, en gras figurent les molécules stables (taux constant).

	<i>L. cannella</i>	<i>L. cannella_2</i>	<i>L. chrysophylla</i>	<i>L. guianensis</i>	<i>L. martiniana</i>
β -caryophyllène	1,4%	0,6%	17,3%	4,5%	38,9%
α -cubébène	17,1%	0,6%	7,0%	14,1%	13,6%
(E)- α -bergamotène	2,2%	36,1%	2,6%	6,0%	0,5%
α -copaène	7,0%	1,1%	4,2%	6,2%	11,3%
α -funébrène	4,4%	20,4%	0,6%	1,2%	-
limonène	2,7%	0,9%	2,8%	0,5%	4,1%
δ -cadinène	6,4%	-	3,3%	1,0%	4,4%
(E)- β -farnésène	0,9%	5,8%	3,1%	4,5%	-
p-cymène	3,3%	0,9%	0,9%	0,6%	2,8%
β -élémyène	3,1%	-	3,7%	1,7%	1,1%
α -humulène	0,6%	-	2,9%	4,9%	4,9%
α -cédrene	-	1,6%	0,2%	8,3%	-
(E,E)- α -farnésène	0,3%	5,4%	0,9%	6,2%	-
α -pinène	3,9%	1,6%	0,6%	0,8%	1,0%
δ -3-carene	1,0%	4,5%	-	4,0%	-
α -sélinène	-	-	3,9%	3,2%	-
(Z)- β -farnésène	-	1,7%	-	5,5%	-
ar-curcumène	0,5%	7,1%	0,8%	0,8%	0,1%
α -santalène	-	-	0,3%	4,6%	-
(E)-épi- β -santalène	-	-	0,3%	4,5%	-

Tableau 20: Liste des molécules caractérisant les *Licaria* étudiés

Les pourcentages indiquent l'abondance moyenne du composé au sein de l'espèce. Les chiffres en gras indiquent une abondance stable dont l'écart-type est inférieur à 5%.

L' α -funébrène est une molécule qui, quand elle est présente, montre un taux stable. Toutes les *Licaria* en émettent. *L. martiniana* mis à part, la production maximale (~20%) étant observée chez *L. cannella 2* et la plus faible chez *L. chrysophylla* (~0,6%). Le (Z)- β -farnésène est présent de façon stable chez uniquement deux espèces: *L. cannella 2* (1,7%) et *L. guianensis* (5,5%). Le (E)- α -bergamotène est aussi une molécule remarquable car souvent présente à des taux importants. Ainsi, elle permet de caractériser de façon forte *L. cannella 2* avec un taux de 36%.

Les espèces *L. chrysophylla* et *L. cannella* présentent peu de molécules spécifiques (resp. 4 et 3) à des taux irrégulièrement stables et faibles. Dans le cas de *L. chrysophylla*, deux molécules caractéristiques, de faible taux et plus rares, le (E)- β -farnésène (3,1%) et le (E)-épi- β -santalène (0,6%) pourraient être pertinentes pour l'identification. En revanche, *L. cannella* ne présente aucune molécule suffisamment rare ou en quantité suffisante pour présenter un intérêt pour l'identification, de plus une seule molécule est présentée à taux stable.

Les espèces *L. cannella* 2, *L. guianensis* et *L. martiniana*, dégagent des composés remarquables tels les farnésènes et le p-cymène. Ces espèces sont donc facilement distinctibles des *L. cannella* et *L. chrysophylla*. Le β -élémane est aussi une molécule stable et caractéristique des *L. martiniana* (~1,1%).

Chez *L. cannella*, la molécule majoritaire, l'(E)- α -bergamotène, est caractéristique. Ce n'est pas le cas pour *L. guianensis* dont les composés majoritaires peuvent être l' α -copaène (20%), l' α -cubébène (47%) ou encore l' α -cédrene (14%). Dans le cas de *L. martiniana*, il existe une homogénéité entre échantillons récoltés piste de Saint-Elie, ils ont tous le β -caryophyllène comme composé majoritaire, ce qui n'est pas le cas de l'échantillon prélevé sur le RN2 qui lui a pour composés majoritaires le p-cymène et le limonène et présente de nombreux composés non-observés sur les échantillons prélevés sur la Piste de Saint-Elie.

4.3. Le Genre *Ocotea*

Treize espèces ont été étudiées : *O. argyrophylla* (4 individus), *O. ceanothifolia* (6), *O. cernua* (4), *O. cinerea* (5), *O. guianensis* (1), *O. indirectinervia* (7), *O. nigra* (3), *O. pauciflora* cf. (4), *O. nigra* (3), *O. pauciflora* cf. (1), *O. percurrens* (4), *O. sp. 12* (1), *O. subterminalis* (3), *O. subterminalis* cf. (1) et *O. tomentella* (3). Elles dégagent un panel de 125 molécules, principalement de sesquiterpènes cycliques. Les molécules caractéristiques sont au nombre de 51 et appartiennent à des familles chimiques diverses.

4.3.a. Les espèces

L'analyse NMDS (Figure 59) permet de distinguer les espèces *O. ceanothifolia*, *O. indirectinervia*, *O. guianensis*, *O. pauciflora* cf., *O. subterminalis* cf., et *O. sp. 12*. Elle montre aussi que l'espèce *O. indirectinervia* est divisée en deux groupes bien distincts. *Ocotea percurrens* et *O. cinerea* ne se distinguent pas par cette analyse. Ces deux dernières espèces sont proches de trois individus de l'espèce *O. argyrophylla* ainsi que de l'espèce *O. cernua*. Un des individus de l'espèce *O. argyrophylla* est très éloigné des trois autres, cependant ils n'ont pas la même station d'origine. Des observations complémentaires seraient donc à effectuer pour étudier l'effet station sur la composition chimique des écorces d'*O. argyrophylla*. Les espèces *O. nigra* et *O. subterminalis* sont proches.

Une analyse ANOSIM ($R=0,8446 - p=10^{-4}$) des espèces indique que les différences entre les espèces ne sont pas significatives ($p < 1$). L'analyse ANOSIM ($R=1 - p=0,0284$) des deux groupes d'*O. indirectinervia* montre des différences significatives entre ces derniers ($p=0,0256$).

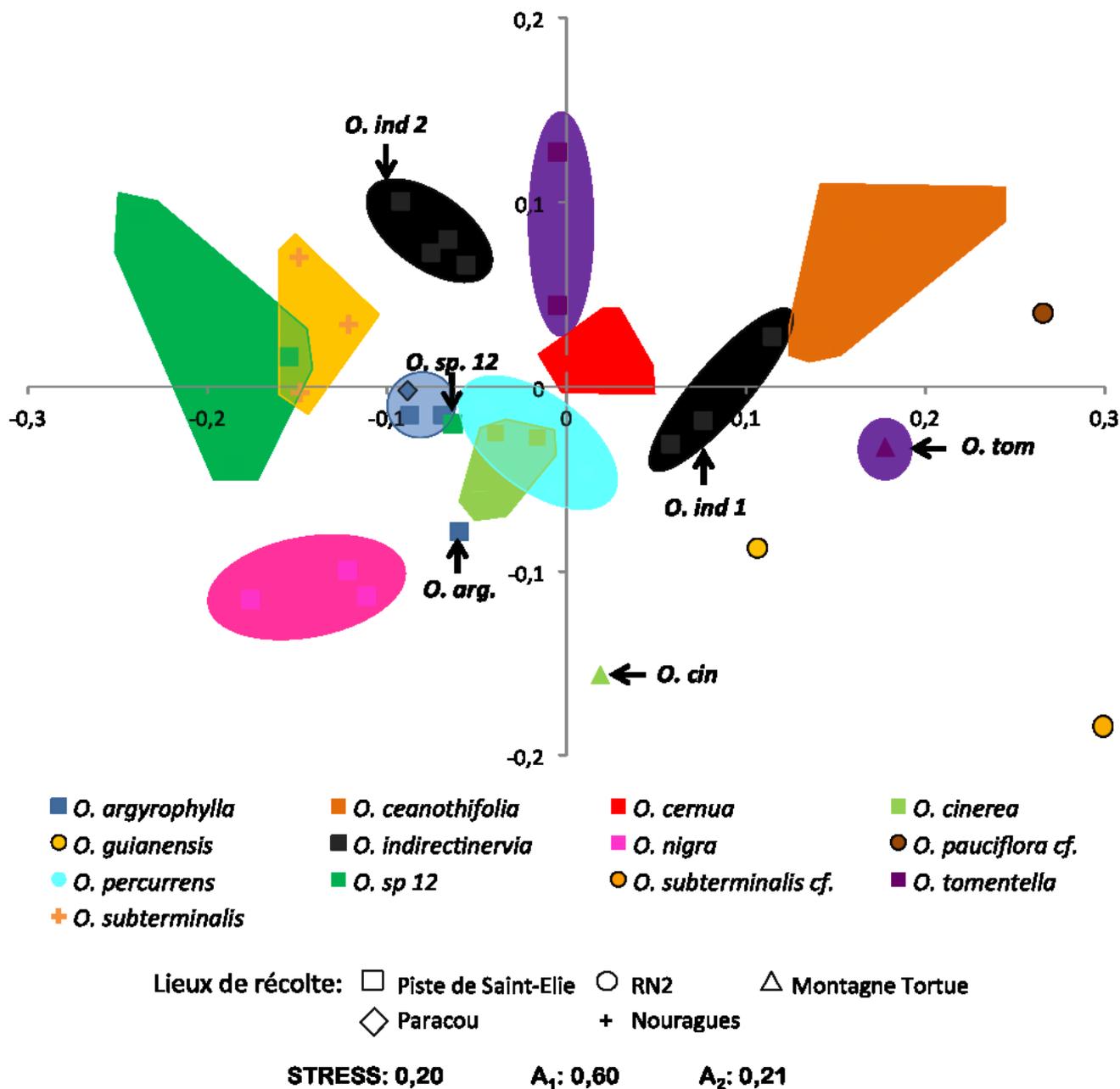


Figure 59: Analyse NMS des *Ocotea* avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A₁₍₂₎ : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2)

L'observation de la structuration chimique des espèces du genre *Ocotea* permet de séparer les espèces en trois groupes chimiques :

- espèces présentant de 30% à 60% de molécules de type monoterpène
- espèces présentant de 80% à 100% de molécules de type sesquiterpène cyclique
- espèces présentant moins de 70% de molécules de type sesquiterpène cyclique

Sur l'analyse NMDS, les espèces ne sont pas distribuées en fonction de ces groupes chimiques.

Les espèces *O. pauciflora*, *O. guianensis* et *O. subterminalis* cf. se distinguent de toutes les autres car elles émettent beaucoup de composés de type monoterpéniques (Tableau 21) : 30% dans le cas des deux premières espèces, 65% dans le cas de la troisième). Ces composés tels le limonène ou le p-cymène monoterpènes de type p-menthane, figurent parmi les composés majoritaires. Aucun composé oxygéné mis à part le 1,8-cinéole n'est observé excepté chez *O. pauciflora*. Les trois individus ont des signatures parfaitement distinctes. *O. guianensis* présente quelques molécules intéressantes en termes de spécificité : le p-cymène (15%) et le limonène (~15%) ont de grandes abondances. A noter, les abondances importantes d'environ 13% de deux molécules courantes : l' α -copaène et l' α -cubébène et celle de 9% de l' α -pinène. Les molécules d'intérêt chez *O. pauciflora* cf. sont : limonène (9%), α -sélinène (~17%), δ -sélinène (~11%), p-cymène (6%), β -sélinène (~4%), α -phellandrène (~4%), rotundène (3%) et M57 (~3%). Pour l'espèce *O. subterminalis* cf. les molécules de limonène, (E)- β -ocimène et γ -terpinène montrent une forte abondance de 18% et permettent à elles seules de distinguer cette espèce (molécules rares et abondantes). En moins grande abondance, les molécules d' α -pinène (~9%), p-cymène (~8%), d' α -phellandrène (~10%) et les molécules de faible abondance β -pinène (3%), (E,E)- α -farnésène (1%) et tricyclène (~1%) sont des molécules ajoutant à la distinction de cette espèce parmi les autres *Ocotea*.

<i>O. pauciflora</i> cf. n=1		<i>O. guianensis</i> n=1		<i>O. subterminalis</i> cf. n=1	
δ-selinene	17,4%	limonene	15,4%	limonene	18,0%
α-selinene	11,2%	p-cymene	15,0%	(E)-β-ocimene	18,0%
limonene	9,0%	α-copaene	12,7%	γ-terpinene	18,0%
p-cymene	6,0%	α-cubebene	12,5%	α-phellandrene	10,1%
cyperene	5,9%	α-ylangene	7,5%	α-pinene	8,6%
α-phellandrene	4,1%	α-pinene	6,1%	p-cymene	7,9%
α-pinene	4,1%	δ-selinene	4,5%	α-cubebene	4,2%
β-selinene	3,8%	(E)-β-ocimene	3,7%	β-pinene	3,1%
γ-cadinene	3,5%	sabinene	2,6%	α-copaene	2,3%
α-copaene	3,4%	β-elemene	2,4%	δ-cadinene	1,7%
rotundene	3,0%	δ-cadinene	2,4%	tricyclene	1,4%
M57	2,8%	α-selinene	2,0%	sabinene	1,1%
β-pinene	2,3%	calamenene	1,8%	β-myrcene	1,1%
α-humulene	2,0%	selina-5,11-diene	1,6%	(E,E)-α-farnesene	1,0%
δ-cadinene	2,0%	β-selinene	1,0%	camphene	0,9%
β-caryophyllene	2,0%	α-guaiene	0,9%	bicyclogermacrene	0,8%
selina-4,11-diene	1,8%	camphene	0,9%	α-selinene	0,8%
α-bulnesene	1,6%	tricyclene	0,8%	alpha-terpinene	0,6%
α-cubebene	1,6%	δ-3-carene	0,8%		
α-guaiene	1,5%	(E)-cadina-1,4-diene	0,6%		
M77	1,2%	γ-murolene	0,6%		
1,8-cineole	1,2%	anastreptene	0,6%		
tmurolene	1,0%	β-caryophyllene	0,5%		
(E,E)-α-farnesene	0,8%				
γ-cadinene	0,8%				
(Z)-cadina-1(6),4-diene	0,8%				
(Z)-muurola-4(14),5-diene	0,7%				
camphene	0,5%				

Tableau 21^a : Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez *Ocotea*

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique.

Par la suite, afin que les tableaux soient lisibles et facilement interprétables, les molécules caractéristiques d'abondance stable figureront directement en caractères gras sur les tableaux présentant la structuration chimique des espèces (Tableau 21^b, Tableau 21^c).

Dans le cas d'*O. argyrophylla* et *O. subterminalis*, le bouquet floral est composé exclusivement de sesquiterpènes cycliques. L'espèce *O. nigra* quant à elle compte trois composés

de type monoterpéniques oxygénés (Tableau 21^b). Presque toutes les molécules caractéristiques d' *O. argyrophylla* présentent des taux stables. Les molécules majoritaires en font partie : α -cubébène (~15%), α -copaène (12%), β -cubébène (~12%) et β -élémane (12%). La présence de molécules rares parmi les Lauracées en moyenne à forte abondance telles le valencène (7%) et moins rares, le germacrène D (4%) sont à remarquer dans l'empreinte chimique d' *O. argyrophylla*. Les individus sont homogènes en composition chimique avec un individu présentant une particularité, l'absence de bicyclgermacrène quand cette molécule est présente jusqu'à 20% chez les autres individus du genre.

Chez *O. subterminalis*, de même que l'espèce précédemment étudiée, la plupart des molécules caractéristiques ont une abondance stable chez tous les échantillons, en particulier les molécules majoritaires le germacrène D (~22%) et le bicyclgermacrène (~10%) dont les taux permettent de distinguer cette espèce des autres. Les individus montrent des compositions chimiques assez similaires. D'autres molécules caractéristiques sont intéressantes à relever : le δ -élémane (~5%), le muurolo-4(14),5-diénène (~4%), l'alloaromadendrène (3%), l'isolédène (~2%) et le germacrène B (1%). Chez un des individus l'abondance en selina-4(15),6-diène est de 20%.

Pour l'espèce *O. nigra*, la plupart des molécules caractéristiques ont des abondances constantes. Le calarène ne présente pas une abondance constante mais est toujours le composé majoritaire (abondance entre 20% et plus de 30%). Chez un des individus l'abondance en selina-4(15),6-diène est de 20%. Quelques molécules d'abondances stables mais plus faibles sont à relever : α -guaïène (~7%), β -sélénène (~4%), valencène (~1%) et β -copaène (2%). Le fort taux en calarène de cette espèce en fait une espèce à part parmi les *Ocotea*.

Les molécules caractéristiques observées chez *O. cinerea* présentent pour la plupart des taux stables. Les molécules majoritaires communes sont α -copaène, α -cubébène et β -caryophyllène. Cependant, elles sont intéressantes car en très grande abondance dans cette espèce. D'autres espèces présentent ces molécules dans des taux moindres, à l'exception d'*O. percurrrens*. Les individus sont homogènes. Les molécules caractéristiques intéressantes sont l'(E)- β -farnésène (~4%), l'(E)- α -bergamotène (~4%), le bicyclgermacrène (~4%), le selina-4(15),6-diénène et le (E)- β -guaïène (~1%).

Toutes les molécules caractéristiques présentent des abondances stables chez *O. sp. 12*. Le germacrène D est soit la molécule majoritaire (de 13% à 50%), soit absent. Les molécules caractéristiques notables sont le bicyclgermacrène (~7%), le γ -cadinène (~3%), le δ -élémane (~3%), muurolo-4(14),5-diène (~5%) et l'isolédène (3%). Le calarène présente une très forte abondance chez deux individus uniquement.

Les molécules majoritaires présentes chez *O. percurrrens* sont communément rencontrées chez les Lauracées. Il s'agit de l' α -copaène et de l' α -cubébène. Elles sont intéressantes du fait de leurs très grandes abondances dans cette espèce. Le β -élémane (~5%) et le γ -muuroloène (~1%) sont des molécules à relever.

<i>O. argyrophylla</i> n=4		<i>O. subterminalis</i> n=3		<i>O. nigra</i> n=3	
α-cubebene	14,7%	germacrene D	21,9%	calarene	29,4%
α-copaene	12,0%	bicyclogermacrene	10,2%	α-cubebene	10,4%
β-cubebene	11,6%	selina-4(15),6-diene	9,0%	selina-4(15),6-diene	9,9%
β-elemene	11,6%	α-cubebene	7,4%	α-copaene	8,0%
valencene	7,2%	α-copaene	6,2%	α-guaiene	6,9%
selina-4(15),6-diene	5,0%	β-caryophyllene	5,6%	β-caryophyllene	4,2%
germacrene D	4,0%	γ-cadinene	5,3%	β-selinene	4,1%
α-guaiene	3,2%	δ-elemene	4,9%	δ-elemene	3,0%
δ-cadinene	2,0%	δ-cadinene	4,0%	δ-cadinene	2,7%
δ-elemene	1,3%	muurolo-4(14),5-diene	3,9%	β-elemene	2,2%
		β-elemene	3,9%	β-copaene	2,0%
		alloaromadendrene	3,0%	α-selinene	1,5%
		α-humulene	2,3%	isolede	1,5%
		isolede	1,8%	α-ylangene	1,5%
		α-ylangene	1,8%	valencene	1,3%
		germacreneB	1,0%	calamenene	1,0%
		cadina-3,5-diene	0,9%	muurolo-4(14),5-diene	0,9%
<i>O. cinerea</i> n=4		<i>O. sp 12</i> n=4		<i>O. percurrans</i> n=3	
α-cubebene	25,6%	α-copaene	10,6%	α-cubebene	33,8%
α-copaene	16,3%	bicyclogermacrene	6,4%	α-copaene	14,2%
β-caryophyllene	7,9%	β-elemene	4,3%	β-elemene	4,6%
selina-4(15),6-diene	5,7%	muurolo-4(14),5-diene	3,5%	β-caryophyllene	4,1%
β-elemene	4,4%	δ-elemene	3,3%	δ-cadinene	3,4%
(E)-β-farnesene	4,1%	isolede	3,0%	α-pinene	2,8%
bicyclogermacrene	3,8%	α-ylangene	3,0%	α-humulene	2,1%
(E)-α-bergamotene	3,6%	γ-cadinene	2,5%	α-ylangene	1,5%
δ-cadinene	2,5%	calamenene	2,1%	cyperene	1,4%
α-funebrene	2,5%	cyperene	1,8%	γ-muurolole	1,2%
α-humulene	1,4%	α-humulene	0,9%	δ-elemene	0,9%
(E)-β-guaiene	1,3%				
γ-muurolole	1,2%				

Tableau 21^b : Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez Ocotea

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique.

L'espèce *O. indirectinervia* a été séparée selon les deux groupes observés à l'analyse NMDS. L'observation des répartitions des familles chimiques des composés au sein de ces deux groupes nous le montre. En effet, le groupe 2 présente une proportion plus grande de composés oxygénés alors que le groupe 1 présente une plus grande proportion de composés de type monoterpénique. Le groupe 1 présente quelques molécules spécifiques majoritaires d'abondance stable permettant de le distinguer du groupe 2 et des autres *Ocotea*: α -pinène (~10%), cypérène (~10%), δ -sélinène (~4%), α -sélinène (~5%), camphène (~8%) et sabinène (~3%). Il s'agit pour la plupart de composés de type monoterpénoïdes. L' α -cubébène est aussi très abondant (~19%). Aucun des composés monoterpéniques spécifiques au type 1 n'est spécifique du type 2, ou tous les composés spécifiques appartiennent à la famille des sesquiterpènes cycliques. L'abondance moyenne de l' α -copaène est d'environ 18%, ce qui démarque cette espèce des autres, de même, celle du bicyclogermacrène qui est de 10%. L'abondance relativement grande de molécules spécifiques plutôt rares au sein du genre *Ocotea* permet de bien les caractériser. Ces molécules sont les suivantes : β -cubébène (~10%), γ -cadinène (~9%), alloaromadendrène (~7%), γ -muurolène (~6%).

L'espèce *O. cernua* se distingue des autres par son taux d'environ 20% en composés oxygénés, quoique ces composés ne soient pas des composés spécifiques. Tous les composés spécifiques émis par les individus appartenant à l'espèce *O. cernua* présentent une abondance stable. Des molécules communément observées telles que l' α -copaène, l' α -cubébène et le β -caryophyllène présentent des abondances relativement élevées de 20%, 12% et 7%. La molécule majoritaire est l' α -humulène avec 27% d'abondance, ce qui représente une particularité chez les *Ocotea*. Notons la spécificité de l' α -pinène (~4%) et du β -pinène (~2%).

En revanche, l'espèce *O. tomentella* dont le profil est dominé par les sesquiterpènes cycliques (~80% des molécules) est beaucoup moins homogène, présentant deux individus relativement proches quoique ne présentant pas les mêmes molécules majoritaires et un troisième très éloigné chimiquement. Peut-être est-ce un effet terrain. Parmi les molécules caractéristiques, des molécules couramment observées chez les Lauracées en abondance moyennement importante entre 5% et 12%. Les abondances en β -caryophyllène (~7%), α -sélinène (~7%) et en calaménène (~6%) sont quoi qu'il en soit un critère discriminant. La présence du selina-4(15),6-diène est notable mais son abondance est faible (<2%).

La structuration chimique d'*O. ceanothifolia* est similaire à celle d'*O. tomentella*. Les deux composés caractéristiques majoritaires le δ -sélinène et l' α -sélinène ne présentent pas une composition chimique stable. Cependant, chez 4 individus sur 6, ils font partie des composés majoritaires. Sur les 13 autres composés, six composés présentent des proportions stables au dessus de 3% en moyenne : le β -caryophyllène (10,0%), l' α -cubébène (6,9%), le selina-4,11-diène

(6,3%), l' α -humulène (5,3%), l' α -pinène (4,9%) et l' α -copaène (3,4%). D'autres composés intéressants et plus rares sont le limonène (2,5%) et le camphène (2,7%) qui ne sont pas très souvent des molécules caractéristiques chez les *Ocotea*.

<i>O. indirectinervia 1</i> n=3		<i>O. indirectinervia 2</i> n=4	
α -cubebene	18,7%	α -copaene	17,9%
cyperene	10,3%	bicyclgermacrene	10,4%
α -pinene	9,6%	β -cubebene	9,6%
α -copaene	8,4%	γ -cadinene	9,4%
camphene	8,1%	δ -cadinene	6,8%
β -caryophyllene	4,9%	alloaromadendrene	6,5%
α -selinene	4,6%	γ -muurolene	6,3%
α -humulene	4,0%	β -caryophyllene	5,6%
δ -selinene	3,9%	α -humulene	4,6%
sabinene	3,0%	α -cubebene	4,2%
β -cubebene	2,5%	germacrene D	1,8%
δ -cadinene	2,4%	α -ylangene	1,3%
selina-4,11-diene	2,3%	cyperene	1,2%
rotundene	1,7%	(E)-cadina-1,4-diene	0,9%
bicyclgermacrene	1,2%		
α -ylangene	1,1%		
limonene	0,9%		
selina-5,11-diene	0,9%		
germacrene D	0,9%		
(E)-cadina-1,4-diene	0,8%		
α -bulnesene	0,8%		

<i>O. cernua</i> n=4		<i>O. tomentella</i> n=3		<i>O. ceanothifolia</i> n=6	
α -humulene	26,5%	α -cubebene	11,8%	α -selinene	15,8%
α -copaene	19,6%	δ -cadinene	9,5%	δ -selinene	14,7%
α -cubebene	12,3%	α -copaene	8,3%	β -caryophyllene	10,0%
β -caryophyllene	7,3%	α -selinene	6,8%	α -cubebene	6,9%
β -cubebene	4,4%	β -caryophyllene	6,6%	selina-4,11-diene	6,3%
β -elemene	4,4%	calamenene	5,6%	α -humulene	5,3%
α -pinene	4,2%	α -humulene	2,0%	α -pinene	4,9%
δ -cadinene	3,5%	selina-4(15),6-diene	1,5%	α -copaene	3,4%
α -ylangene	2,8%			camphene	2,7%
β -pinene	1,6%			δ -3-carene	2,6%
calamenene	1,3%			limonene	2,5%
				δ -cadinene	2,2%
				selina-5,11-diene	1,4%
				β -cubebene	1,1%
				β -elemene	1,1%

Tableau 21^c : Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez Ocotea

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique

Le Tableau 22 permet d'avoir une vue globale des compositions chimiques des espèces étudiées dans le genre *Ocotea*. Les abondances de certaines molécules même courantes telles que l' α -cubébène, l' α -copaène permettent de discriminer certaines espèces. Le germacrène D, le bicyclogermacrène, le selina-4(15),6-diène, le limonène, l' α -sélinène, le γ -cadinène, le valencène, l'allooromadendrène, le camphène, le γ -muurolène, l' α -guaiène, le muurola-4(14),5-diène, l'isolédène, le (E)- β -farnésène, le β -sélinène, l'(E)- β -ocimène, l'(E)- α -bergamotène, le sabinène, le β -pinène, le rotundène, le (E)- β -guaiène et le germacrène B, sont des molécules permettant de distinguer les espèces. Elles sont caractéristiques chez moins de la moitié des espèces étudiées. Quant à l' α -phellandrène, au p-cymène, à l'(E)- β -ocimène, au γ -terpinène, au β -pinène et au M57, ils sont trouvés soit, en grande abondance chez les espèces présentant un seul individu soit présentes presque uniquement chez une seule espèce d'*Ocotea*.

	<i>O. argyrophylla</i>	<i>O. ceanothifolia</i>	<i>O. cernua</i>	<i>O. cinerea</i>	<i>O. guianensis*</i>	<i>O. indirectinervia1</i>	<i>O. indirectinervia2</i>	<i>O. nigra</i>	<i>O. pauciflora cf.*</i>	<i>O. percurrens</i>	<i>O. sp 12</i>	<i>O. subterminalis cf.*</i>	<i>O. subterminalis</i>	<i>O. tomentella</i>
α-cubebene	14,7%	6,9%	12,3%	25,6%	12,5%	18,7%	4,2%	10,4%	1,6%	33,8%	4,9%	4,2%	7,4%	11,8%
α-copaene	12,0%	3,4%	19,6%	16,3%	12,7%	8,4%	17,9%	8,0%	3,4%	14,2%	10,6%	2,3%	6,2%	8,3%
germacrene D	4,0%		0,4%	1,0%	-	0,9%	1,8%	-	-	2,2%	15,2%	-	21,9%	1,2%
α-humulene	0,3%	5,3%	26,5%	1,4%	-	4,0%	4,6%	0,4%	2,0%	2,1%	0,9%	-	2,3%	2,0%
calarene	-	15,8%	-	-	-	-	-	29,4%	-	0,3%	10,0%	-	0,9%	-
α-selinene	-	14,7%	1,4%	0,3%	2,0%	4,6%	-	1,5%	11,2%	-	-	0,8%	-	6,8%
bicyclgermacrene	10,7%		-	3,8%	-	1,2%	10,4%	0,4%	-	3,7%	6,4%	0,8%	10,2%	-
δ-selinene	2,4%		0,4%	-	4,5%	3,9%	-	-	17,4%	-	-	-	-	3,2%
β-elemene	11,6%	1,1%	4,4%	4,4%	2,5%	-	-	2,2%	-	4,6%	4,4%	-	3,9%	14,0%
β-caryophyllene	1,4%	10,0%	7,3%	7,9%	0,5%	4,9%	5,6%	4,2%	2,0%	4,1%	2,9%	-	5,6%	6,6%
β-cubebene	11,6%	1,1%	4,4%	3,1%	-	2,5%	9,6%	1,4%	-	3,1%	2,4%	-	1,4%	2,1%
selina-4(15),6-diene	5,0%		-	5,7%	-	-	-	10,0%	-	3,2%	-	-	9,0%	1,5%
α-pinene	-	4,9%	4,2%	1,0%	6,1%	9,6%	-	-	4,1%	2,8%	0,4%	8,6%	-	2,9%
cyperene	1,4%		-	0,3%	-	10,3%	1,2%	0,2%	5,9%	1,4%	1,8%	-	0,8%	3,9%
(E)-α-bergamotene	-		-	3,6%	-	-	-	-	-	1,0%	0,4%	-	0,5%	-
δ-cadinene	2,0%	2,2%	3,5%	2,5%	2,4%	2,4%	6,8%	2,7%	2,0%	3,5%	4,1%	1,7%	4,0%	9,5%
limonene	-	2,5%	0,2%	0,2%	15,4%	0,9%	-	-	9,0%	1,6%	0,7%	18,0%	-	0,4%
γ-cadinene	-		-	-	-	-	9,4%	0,2%	0,8%	-	2,5%	-	-	1,5%
valencene	7,2%		-	0,8%	-	-	1,5%	1,3%	-	1,6%	2,4%	-	-	1,9%
camphene	-	2,7%	0,3%	0,5%	0,9%	8,1%	-	-	0,5%	1,0%	-	0,9%	-	1,7%
selina-4,11-diene		6,3%	0,3%			2,3%			1,8%					
δ-elemene	1,3%	0,6%	0,7%	1,8%				3,0%		0,9%	3,4%		4,9%	0,2%
α-ylangene	1,9%	0,7%	2,8%	1,2%	7,5%	1,1%	1,3%	1,5%		1,5%	3,0%		1,8%	
alloaromadendrene	0,5%			1,4%				6,5%			0,2%	0,3%	3,0%	
γ-murolene	0,5%	0,1%	1,3%	2,0%	0,6%			6,3%			1,2%			
α-guaiene	3,2%	0,1%			0,9%			6,9%	1,5%					
calamenene			1,3%	0,8%	1,8%	0,7%	0,3%	1,0%		1,1%	2,1%			5,6%
p-cymene		0,2%			15,0%				6,0%	0,9%		7,9%		
muurola-4(14),5-diene								0,9%			3,5%		3,9%	1,9%
sabinene		1,8%		2,1%	2,6%	3,1%				1,1%		1,1%		0,5%
7-epi-α-selinene		0,9%	0,5%	1,6%					3,6%				5,3%	
isodene	1,6%			1,1%				1,5%			3,0%		1,8%	
β-selinene		0,3%	0,3%		1,0%	2,1%		4,1%	3,8%				0,9%	
(E)-β-farnesene				4,5%			0,2%			1,5%	0,9%			
(E)-β-ocimene					3,7%							18,0%		
γ-terpinene												18,0%		
δ-3-carene		2,6%	0,2%		0,8%	0,5%					0,5%			
selina-5,11-diene		1,4%			1,6%	0,9%	0,1%				1,8%			
α-gurjunene				2,4%			1,1%	2,4%						
α-phellandrene									4,1%	0,3%		10,1%		
(E)-cadin-1,4-diene		0,1%		0,7%	0,6%	0,8%	0,9%	0,2%		1,1%	0,6%			1,6%
rotundene		0,9%				1,7%			3,0%	0,3%			0,2%	0,6%

Tableau 22: Liste des molécules caractérisant les *Ocotea* étudiés

Les pourcentages indiquent l'abondance moyenne du composé au sein de l'espèce. Les chiffres en gras indiquent une abondance stable dont l'écart-type est inférieur à 5%. * et gris : un seul individu observé

4.3.b. Cinq chémotypes ?

La structuration de l'analyse NMDS précédemment menée, nous a amené à étudier l'existence de chémotypes au sein du genre *Ocotea*. Une analyse par K-means clustering permet de voir que les données sont structurées en 5 groupes (Figure 60). Une analyse ANOSIM ($R=0,5446 - p<10^{-4}$) montre que ces groupes sont différents de façon significative ($p<0,0123$).

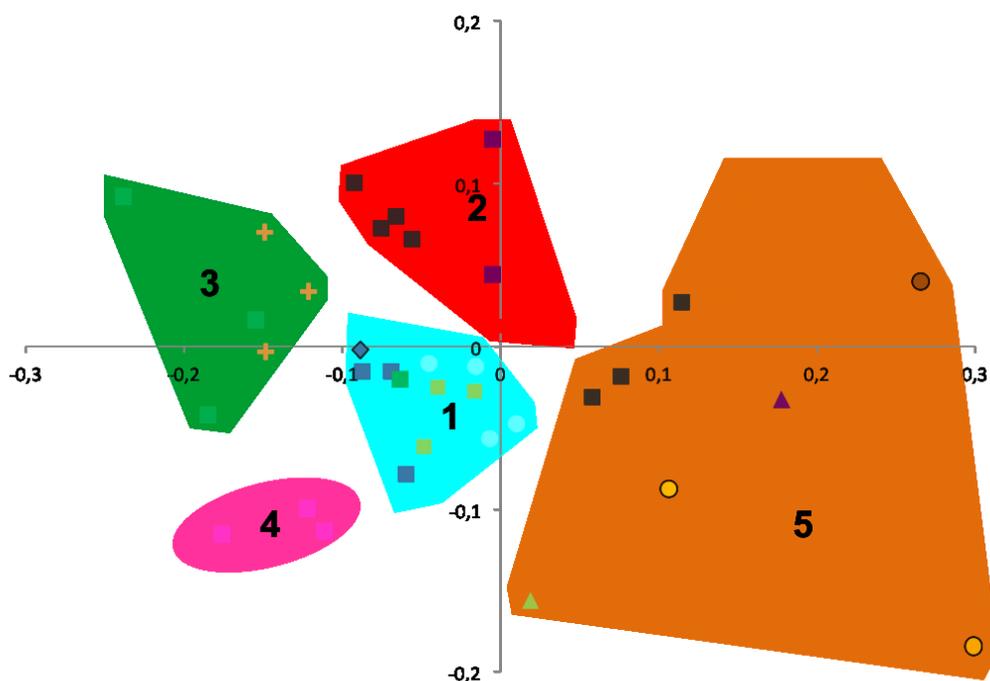


Figure 60: Regroupement des *Ocotea* en types chimiques

Le groupe 1 (bleu turquoise) est composé d'*O. argyrophylla*, *O. cinerea*, *O. percurrans* et *O. sp.* 12. Il est caractérisé par de grandes abondances en α -cubébène (24%, jusqu'à 42%) et d' α -copaène (15%) et par la présence constante de β -élémane (7%), δ -cadinène (3%) et d' α -humulène (2%). Ce groupe ne montre pas de molécules caractéristiques notables de par leur rareté, c'est l'abondance constante des molécules citées qui les regroupe. Cependant il est à noter que le valencène (3%) et le bicyclogermacrène (6%) sont présents chez la majorité des individus de ce groupe.

Le groupe 2 (rouge) est composé d'*O. indirectinervia* 2, *O. tomentella* et *O. cernua*. Il est caractérisé par une abondance relativement forte en α -humulène (13%) surtout pour les *O. cernua* (jusqu'à 32%) et moyenne en β -caryophyllène (6%) et en δ -cadinène (6%). On observe des taux relativement forts en α -copaène (17%) et en α -cubébène (11%). La majorité des individus appartenant à ce groupe émettent du β -cubébène (7%).

Le troisième groupe (rouge) est composé des espèces *O. sp. 12* et *O. subterminalis*. Il est caractérisé par des taux importants en germacrène D (21%) et / ou bicyclogermacrène (9%) et un taux important en α -copaène (7%). Le β -caryophyllène (5%), le muurolo-4(14),5-diene (4%), le δ -élémente (4%) et le β -élémente (4%) sont aussi des molécules caractéristiques du groupe.

Le groupe 4 (rose) est composé de peu d'individus. Ils appartiennent à l'espèce *O. nigra*. Ce groupe se caractérise par une émission importante de calarène (30%) et de selina-4(15),6-diene (10%) et par une émission moins importante d' α -guaïène (7%) et d' α -cubébène (10%).

Le groupe 5 (orange) est composé d'*O. argyrophylla*, *O. ceanothifolia*, *O. indirectinervia* 1, *O. pauciflora* cf., *O. subterminalis* cf. et *O. guianensis*. Ce groupe est très éclaté et présente des molécules caractéristiques notables telles que l' α -sélinène (9%), l' α -pinène (6%) et le limonène (5%) et des molécules caractéristiques plus communes : l' α -cubébène (10%) et l' α -copaène (6%).

Ces espèces ayant été peu ou pas étudiées dans la phylogénie, il n'est pas possible de faire un parallèle avec la structuration génétique connue de la population.

4.4. Le Genre *Rhodostemonodaphne*

Quatre espèces sont analysées : *R. grandis* (6 individus), *R. morii* (4), *R. praeclara* (1) et *R. rufovirgata* (6). Un total de 95 molécules différentes est observé. Il s'agit majoritairement de sesquiterpènes cycliques.

Sur l'analyse NMDS (Figure 61), les trois espèces ayant été les plus échantillonnées, sont bien distinctes et le stress est faible. Les *R. morii* sont séparés en 2 groupes distincts. Les *R. grandis* sont quant à eux éparpillés mais se distinguent des autres genres. *R. praeclara* est confondu avec un *R. grandis*. Un individu semble s'éloigner des autres individus de l'espèce *R. rufovirgata*.

L'analyse ANOSIM ($R=0,8994 - p=10^{-4}$) montre que, contrairement aux autres genres, les espèces appartenant au genre *Rhodostemonodaphne* ont des différences significatives entre elles ($p<0,0053$), exception faite de *R. praeclara*, ce qui est probablement dû au faible échantillonnage (un seul échantillon). Ce genre constituera pas la suite une référence pour la comparaison avec des genres contenant une seule ou deux espèces (*Endlicheria*, *Mezilaurus* et *Sextonia*).

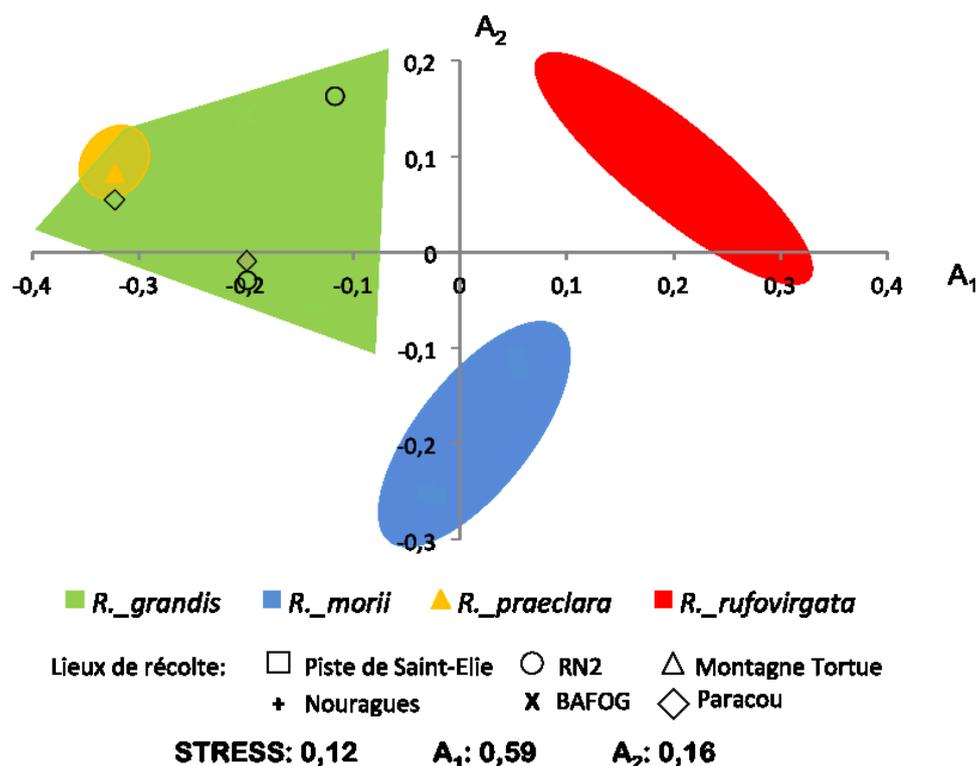


Figure 61 : Analyse NMDS des Rhodostemonodaphne avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A_{1 (2)} : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2)

L'observation de la structuration chimique (Tableau 23) montre quatre profils bien distincts avec soit, une proportion importante (20%) de composés oxygénés (*R. morii*), soit une grande proportion (>30%) de composés de type monoterpénique avec composés oxygénés (*R. grandis*) ou sans composés oxygénés (*R. praeclara*) ou encore, avec des proportions similaires de composés autres que les sesquiterpènes cycliques (*R. rufovirgata*).

Comme dans le cas des autres genres, toutes les familles chimiques répertoriées dans une espèce ne se retrouvent pas dans les molécules caractéristiques. Notons toutefois la présence de molécules de type monoterpénique parmi les molécules caractérisant *R. grandis*. Lors de l'analyse des similarités, pour établir une différence significative entre les 3 espèces majoritaires, il suffit de considérer les trois molécules les plus responsables de la variance (11% de la variance cumulée) : camphène, α -pinène et α -sélinène. Cela s'explique par la grande constance des taux de ces trois molécules dans les espèces considérées. Le camphène est retrouvé uniquement chez *R. grandis* (~12%), l' α -pinène chez *R. grandis* (~21%) et un seul individu de *R. morii* à 0,7%. Enfin, l' α -sélinène est retrouvé chez ces deux espèces à des taux moyens importants de 7% et 12%.

La confusion entre *R. praeclara* et *R. grandis* sur l'analyse NMDS s'explique par une composition chimique en composés majoritaires très proche (α -pinène, camphène, limonène, α -copaène, δ -sélinène, α -sélinène et limonène).

Les molécules majoritaires sont le plus souvent l' α -pinène et le camphène chez *R. grandis* il s'agit des molécules caractéristiques. Leur taux se situe entre 10% et 33% pour l' α -pinène et 3% et 27% pour le camphène. Dans le cas de deux arbres, le limonène dont le taux observé se situe entre 2% et 23% est majoritaire. Le tricyclène, minoritaire est spécifique et stable (~1%). Citons l' α -sélinène (~7%), le δ -cadinène (~2%) et l' α -humulène (1%) comme molécules stables.

Dans le Tableau 24, figure le détail des compositions chimiques des espèces du genre *Rhodostemonodaphne* classées par ordre d'importance dans la variance et en gras figurent les molécules stables. Une étude de stabilité de l'abondance des molécules ne peut pas être effectuée sur *R. praeclara* car nous n'avons disposé que d'un échantillon. Cependant, notons les abondances importantes de l' α -pinène (40%), du camphène (23%) et du β -pinène (9%) et de la présence du β -terpinolène, (2%), qui n'est pas une molécule courante.

<i>R. grandis</i> n=6	<i>R. morii</i> n=4	<i>R. praeclara</i> n=1	<i>R. rufovirgata</i> n=6
α-pinene 20,8%	δ-selinene 27,1%	α-pinene 39,7%	α-copaene 11,0%
camphene 12,3%	α-cubebene 12,2%	camphene 22,7%	α-cubebene 8,9%
limonene 8,0%	α-selinene 11,9%	β-pinene 8,9%	δ-cadinene 5,8%
δ-selinene 7,6%	γ-cadinene 4,0%	α-copaene 4,5%	γ-muurolene 4,2%
α-selinene 6,8%	α-copaene 3,2%	δ-selinene 4,3%	β-caryophyllene 3,9%
α-copaene 6,4%	β-cubebene 3,1%	α-selinene 3,5%	β-cubebene 3,2%
δ-cadinene 1,9%	β-elemene 3,1%	limonene 1,6%	
α-humulene 1,1%	calamenene 2,5%	β-terpinolene 1,6%	
tricyclene 0,9%	RL28 2,3%	tricyclene 1,4%	
	β-selinene 2,0%	cadieno-1(6),4-diene 1,4%	
	δ-cadinene 1,1%	amorpho-4,7(11)-diene 1,4%	
	amorpho-4,7(11)-diene 0,7%	selino-4,11-diene 1,4%	
		β-caryophyllene 1,4%	
		α-guaiene 1,0%	
		δ-3-carene 0,9%	
		α-humulene 0,9%	
		α-ylangene 0,9%	
		germacreneD 0,7%	
		α-bulnesene 0,5%	
		δ-cadinene 0,5%	

Tableau 23 : Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez *Rhodostemonodaphne*

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique.

Le Tableau 24 présente une liste de molécules caractéristiques des espèces du genre *Rhodostemonodaphne*.

R. morii présente de nombreuses molécules caractéristiques à taux stable (une dizaine sur 13 molécules caractéristiques) dont la plus abondante est l' α -sélinène. Le δ -sélinène possède une abondance variable (de 14% à 52%), mais même dans les valeurs basses, il reste la première ou deuxième molécule la plus abondante du bouquet floral des composés dégagés par *R. morii*. Les molécules α -sélinène, α -copaène, limonène, δ -cadinène, β -pinène, γ -muurolène, β -terpinolène, β -cubébène, γ -cadinène, β -caryophyllène, β -élémente, α -humulène, calaménène, δ -3-carene, RL28, α -guaïène, β -sélinène et amorpha-4,7(11)-diène sont les molécules stables caractéristiques de *R. morii*. Deux types chimiques semblent se dégager un groupe avec l' α -cubébène très abondant (18%) et un autre très abondant en α -sélinène (15%).

Chez *R. rufovirgata*, 4 molécules caractéristiques montrent une abondance moyenne stable : le δ -cadinène (6%), le γ -muurolène (4%) qui n'a pas été observé chez les autres espèces du genre, le β -cubébène (3%) et le β -caryophyllène (4%). Le germacrène D est la molécule majoritaire chez 5 des 6 arbres étudiés avec des abondances allant de 23% à 39% du bouquet floral et est absent chez un seul individu qui présente l' α -cubébène comme molécule majoritaire à 33% d'abondance. Il s'agit de l'individu éloigné du groupe des *R. rufovirgata* sur l'analyse NMDS (Figure 61) ne présentant pas germacrène D alors que les autres en émettent en grande abondance.

	<i>R. grandis</i>	<i>R. morii</i>	<i>R. praeclara*</i>	<i>R. rufovirgata</i>
α -pinène	20,8%	0,2%	39,7%	0,3%
δ -sélénène	7,6%	27,1%	4,3%	0,4%
germacrène D	0,7%	0,4%	0,7%	21,8%
camphène	12,3%	-	22,7%	-
α -cubébène	2,2%	12,2%	-	8,9%
α -sélénène	6,8%	11,9%	3,5%	-
α -copaène	6,4%	3,2%	4,5%	11,0%
limonène	8,0%	0,2%	1,6%	0,2%
δ -cadinène	1,9%	1,1%	0,5%	5,8%
β -pinène	3,0%	-	8,9%	-
γ -muurolène	-	-	-	4,2%
β -terpinolène	4,2%	-	1,6%	-
β -cubébène	-	3,1%	-	3,2%
γ -cadinène	-	4,0%	-	1,4%
β -caryophyllène	0,9%	0,5%	1,4%	4,0%
β -élémente	0,5%	3,1%	-	2,0%
α -humulène	1,2%	0,7%	0,9%	2,7%
calaménène	0,7%	2,5%	-	0,2%
δ -3-carene	1,9%	-	0,9%	-
RL28	-	2,3%	-	-
α -guaïène	1,6%	-	1,0%	-
β -sélénène	-	2,0%	-	-
amorpha-4,7(11)-diène	0,7%	0,7%	1,4%	0,3%
selina-4,11-diène	0,8%	-	1,4%	0,3%
α -bulnésène	1,1%	-	0,6%	-
tricyclène	0,9%	-	1,4%	-

Tableau 24 : Liste des molécules caractérisant les *Rhodostemonodaphne* étudiés

Les pourcentages indiquent l'abondance moyenne du composé au sein de l'espèce. Les chiffres en gras indiquent une abondance stable dont l'écart-type est inférieur à 5%. * : un seul individu observé.

4.5. Le Genre *Endlicheria*

Seules deux espèces ont été analysées : *E. bracteolata* (1 individu) et *E. melinonii* (4). Elles dégagent au total 56 molécules dont 50% de composés sesquiterpéniques acycliques.

Afin de pouvoir situer chimiquement ce genre, l'analyse NMDS est faite en comparaison avec le genre *Rhodostemonodaphne* (Figure 62). Cette analyse montre un grand éclatement de l'espèce *E. melinonii* et l'espèce *E. bracteolata* qui est confondue dans un groupe de *Rhodostemonodaphne*. Les deux individus proches (croix violette et individu de *Rhodostemonodaphne* sur la partie haute à droite du graphique) sur l'analyse NMDS montrent les mêmes composés majoritaires avec 8 molécules communes : l' α -copaène (*R. rufovirgata* : 33% - *E. melinonii* : 61%), l' α -cubébène (6% - 10%), l' α -humulène (2% - 4%), le β -caryophyllène (7%

- 3%), le β -cubébène (2% - 4%), le calaménène (1% - 2%), le δ -cadinène (3% - 4%) et le γ -muurolène (2% - 4%). De plus ils présentent un nombre de composés similaire (16 - 23).

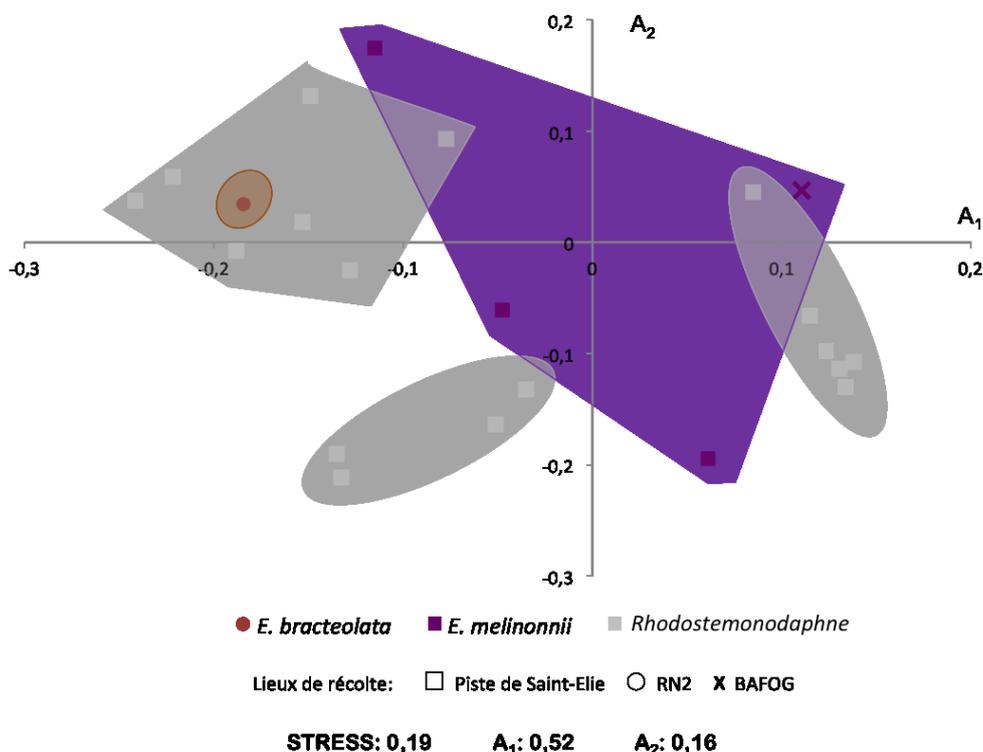


Figure 62 Analyse NMDS des *Endlicheria* et les *Rhodostemonodaphne* avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A₁₍₂₎ : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2). Le genre *Rhodostemonodaphne* est affiché sur le graphique sans indication de lieu de prélèvement.

Les deux espèces d'*Endlicheria* ne présentent pas de différences significatives ($p < 1$) avec les *Rhodostemonodaphne* considérés selon l'analyse ANOSIM ($R=0,8026 - p=10^{-4}$). En effet, si les *E. melinonii* sont bien distincts des *Rhodostemonodaphne*, ils ne sont pas suffisamment homogènes en composition chimique pour former un groupe significativement distinct des autres espèces considérées. De plus, l'abondance des molécules caractéristiques n'est pas stable, exceptée celle de l' α -humulène ($\sim 4\%$) et du γ -muurolène ($\sim 6\%$). Du point de vue de leur composition chimique, les deux espèces d'*Endlicheria* sont très distinctes l'une de l'autre (Tableau 25). En effet, *E. bracteolata* présente peu de composés de type sesquiterpéniques par rapport à toutes les autres espèces de Lauracées étudiées (40%) et montre une grande abondance en molécules de type monoterpéniques ($\sim 30\%$) et en composés monoterpéniques oxygénés (20%), ce qui est remarquable comparativement aux autres genres qui présentent plutôt des sesquiterpènes cycliques. *E. melinonii*, présente 80% de molécules de type sesquiterpénique cyclique et 15% de molécules de type monoterpénique. Les molécules majoritaires ne sont pas les mêmes pour tous les individus de l'espèce *E. melinonii*, même celles échantillonnées sur le même terrain, c'est pourquoi il est difficile de définir l'empreinte chimique de cette espèce. Il existe toutefois des molécules communes aux individus recensés dont l' α -copaène, présent à des taux élevés ($\approx 20\%$).

Dans le cas de l'espèce *E. bracteolata*, nous ne pouvons pas dresser une vraie carte d'identité chimique car seul un individu a été récolté.

<i>E. bracteolata</i> n=1		<i>E. melinonii</i> n=4	
α -pinene	23,3%	α -copaene	19,8%
sabinene	17,5%	γ -muurolene	5,8%
p-cymene	10,3%	α -humulene	3,8%
δ -3-carene	10,2%	β -caryophyllene	2,8%
δ -selinene	7,8%		
α -selinene	5,6%		
α -cubebene	3,8%		
α -copaene	2,7%		
camphene	2,5%		
limonene	1,8%		
selina-4,11-diene	1,6%		
α -humulene	1,3%		
pinocarvone	1%		
α -phellandrene	1,0%		
δ -cadinene	0,9%		
myrtenal	1%		
calamenene	0,7%		
α -ylangene	0,7%		
(E)-sabinol	1%		
tricyclene	0,6%		
β -caryophyllene	0,5%		
β -elemene	0,5%		
α -guaiene	0,5%		
(E)-verbenol	1%		

Tableau 25: Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez Ocotea

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53 indique la famille chimique.

4.6. Le genre *Mezilaurus*

Quatre individus appartenant à une même espèce, *Mezilaurus sp. 1*, ont été étudiés, ils proviennent tous la Piste de Saint-Elie. Un ensemble de 55 molécules sont émises par ces arbres, majoritairement des sesquiterpènes cycliques (~70%) mais aussi des composés de type monoterpéniques (~20%), le reste étant composé de molécules oxygénées et de sesquiterpènes acycliques.

Comme dans le cas du genre *Endlicheria*, la comparaison est faite avec le genre *Rhodostemonodaphne* dont les espèces sont significativement distinctes (Figure 63). De nombreuses différences intra-espèce existent au sein du genre *Mezilaurus*, d'où la dispersion observée sur l'analyse NMDS.

L'analyse ANOSIM ($R=0,8143 - p=10^{-4}$) montre une différence significative entre *R. grandis*, *R. rufovirgata* et *Mezilaurus sp. 1* ($p<0,006$) mais pas entre *R. morii* et *Mezilaurus sp. 1* ($p=0,0295$) ;

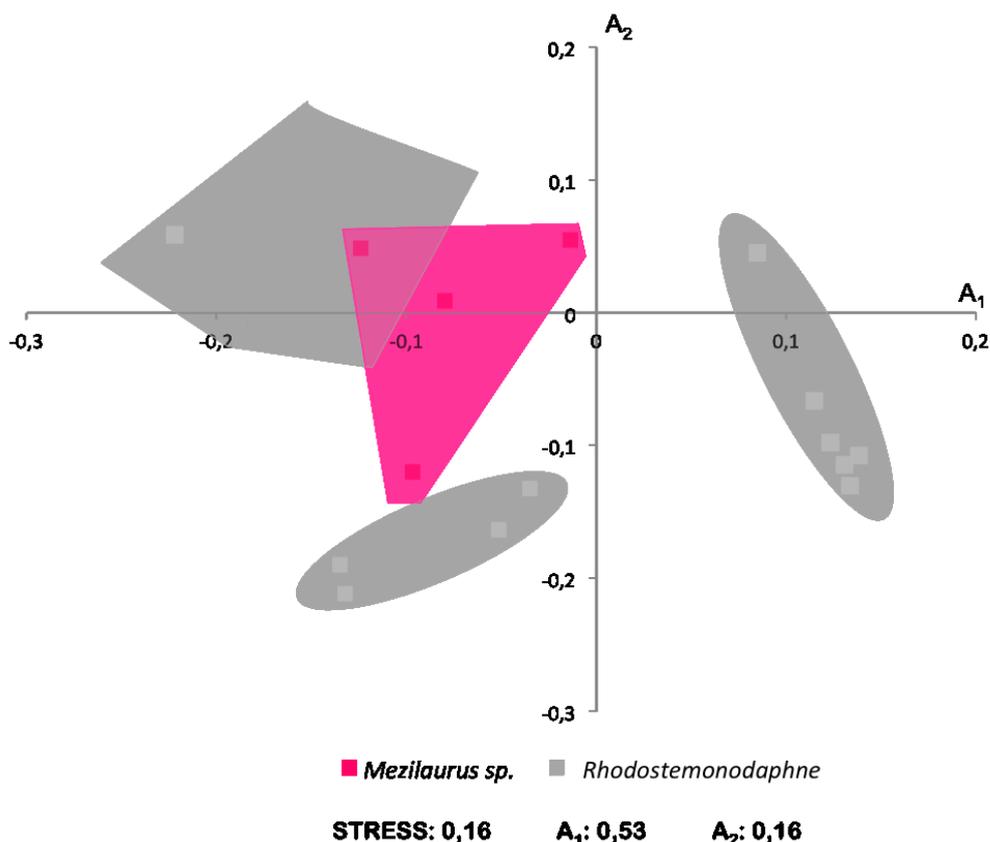


Figure 63: Analyse NMDS sur les molécules caractéristiques des genres Mezilaurus et Rhodostemonodaphne

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – A₁₍₂₎ : coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2). Le genre *Rhodostemonodaphne* est affiché sur le graphique sans indication de lieu de prélèvement.

La dispersion des individus est due au fait que chacun d'eux présente un composé majoritaire différent : δ -sélénène (31%), β -caryophyllène (22%), (E)- α -bergamotène (20%) ou α -

pinène (9%). La proximité observée entre *R. morii* et *Mezilaurus* est due à 4 molécules caractéristiques à abondances stables qui sont communes aux signatures chimiques de ces deux espèces et à la présence de δ -sélinène à fort taux, (*R. morii* : 27% - *M. sp. 1* : 9%) cette molécule n'étant pas commune à toutes les espèces considérées. Les molécules communes sont α -copaène (*R. morii* : 3% - *M. sp. 1* : 7%), β -élémente (3% - 2%), β -sélinène (2% - 1%), δ -cadinène (1% - 2%). De plus, l' α -sélinène, même s'il n'est pas caractéristique est présent chez *Mezilaurus* dans 3 des 4 échantillons à des abondances parfois similaires à celles observées chez *R. morii* autour de 10%.

La structuration chimique du genre *Mezilaurus* (Tableau 26) ressemble à celle de *R. morii* et de *R. rufovirgata* (cf. p. 186 Tableau 24). La composition en molécules caractéristiques est relativement homogène.

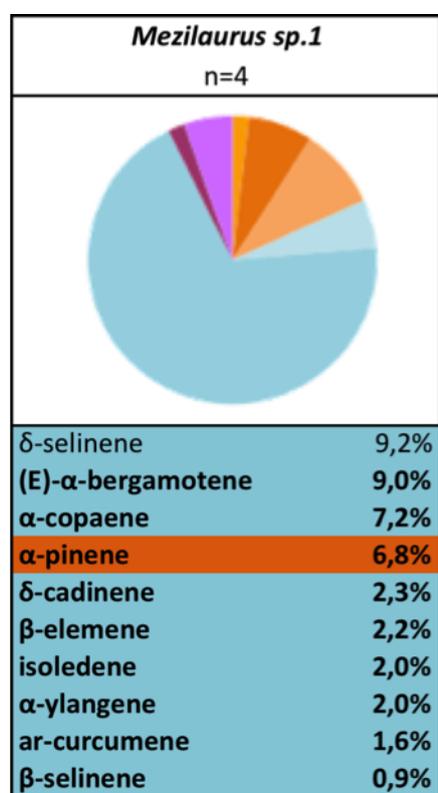


Tableau 26: Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez Mezilaurus

Le camembert représente les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. En gras, les molécules d'abondances stables (écart-type inférieur à 5%).

4.7. Le genre *Sextonia*

Une seule espèce existe au sein de ce genre, il s'agit de *Sextonia rubra*. Seize échantillons ont été observés provenant de 7 stations différentes. Ces échantillons présentent un panel de 63 molécules, majoritairement des sesquiterpènes cycliques (70%) et de composés monoterpéniques de type p-menthane (8%).

L'analyse NMDS montre que les *Sextonia* sont distincts du genre *Rhodostemonodaphne* et qu'ils sont structurés en deux groupes qu'on appellera S. rub. 1 et S. rub. 2 (Figure 64).

L'analyse ANOSIM ($R=0,4155 - p=10^{-4}$) indique une différence significative entre le genre *Rhodostemonodaphne* et *S. rubra* ($p=10^{-4}$). L'analyse ANOSIM ($R=0,3333 - p=0,0128$) des deux groupes de *Sextonia* montre une différence significative ($p=0,0141$) entre ceux-ci. De plus, une autre analyse ANOSIM ($R=0,196 - p=0,0086$) sur le genre *Rhodostemonodaphne* et les deux groupes de *Sextonia* montre que seul le groupe S. rub. 1 (le plus extérieur) est significativement différent de *Rhodostemonodaphne* ($p>0,0127$).

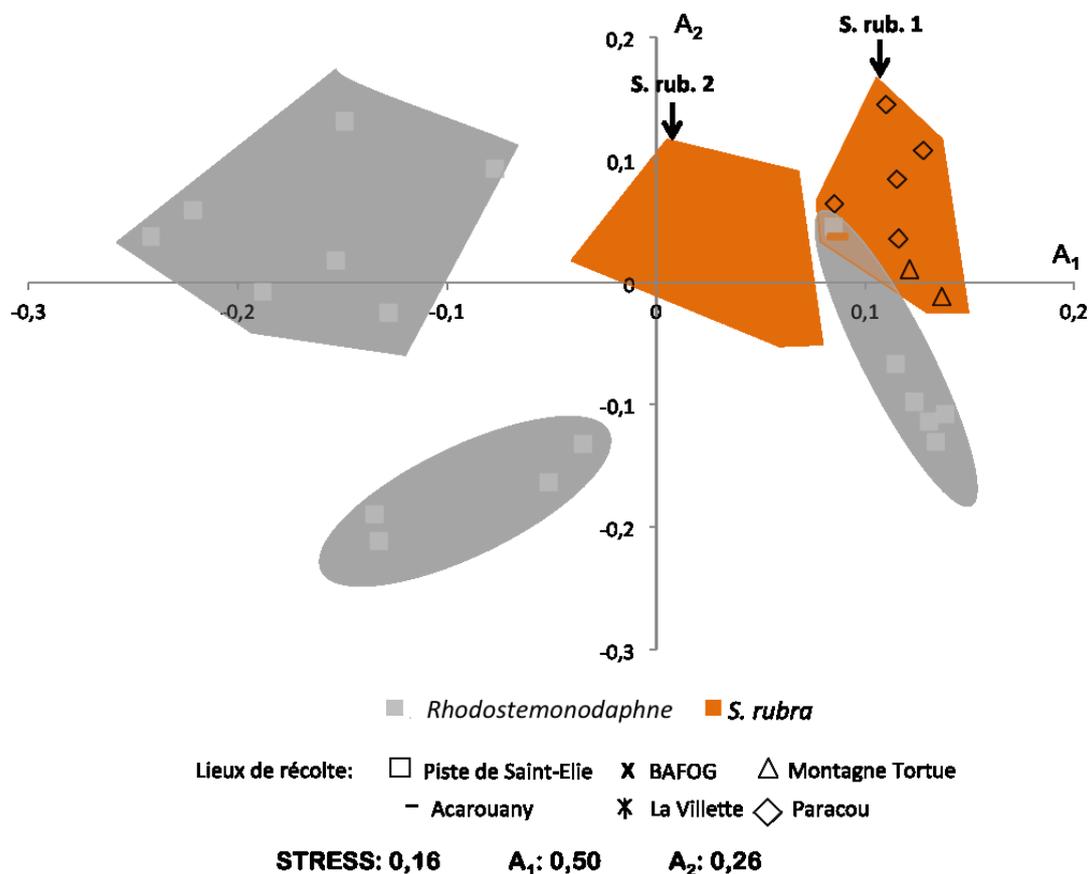


Figure 64 : Analyse NMDS des *Sextonia* et les *Rhodostemonodaphne* avec les molécules caractéristiques

Stress : écart de l'ajustement du graphique aux données – $A_{1(2)}$: coefficient de corrélation sur l'axe 1 (2). Le genre *Rhodostemonodaphne* est affiché sur le graphique sans indication de lieu de prélèvement.

La composition moléculaire du bouquet floral dégagé par chaque arbre varie en fonction du lieu de récolte. En effet, dans le groupe 1, figurent majoritairement des individus provenant de Paracou et de la Montagne Tortue. Dans l'autre groupe, figurent des individus plutôt provenant de Saut la Villette, de l'Acarouany ou du BAFOG. Les trois individus provenant de Paracou placés le plus haut sur la NMDS sont très proches chimiquement avec deux composés majoritaires l' α -copaène à 33% environ et le β -caryophyllène à 22% environ, deux de ces individus montrent des taux importants d'amorpha-4,7(11)-diène (21%). Plus bas sur le graphique, toujours dans *S. rubra 1*, quatre individus sont regroupés. Ils proviennent de l'Acarouany, du BAFOG, de la Piste de Saint-Elie et de Paracou. Leurs points communs sont une grande abondance en α -copaène (55%), des taux similaires en α -ylangène (~2%), β -caryophyllène (~3%), β -cubébène (~1,6%), calaménène (1,0%), δ -cadinène (4,5%) et en γ -cadinène (1,5%). Les trois autres échantillons proviennent de la Montagne Tortue et de Paracou. La composition est homogène en α -pinène (~1%), α -ylangène (~1,5%), β -cubébène et β -élémente (3,5%), δ -cadinène (~2,5%), γ -muurolène (~1%), germacrène D (~3%) et selina-5,11-diène (1%). L'abondance en α -copaène varie de 15% à 54% et chez l'individu chez lequel cette abondance est la plus basse, le β -caryophyllène est à 30% (contre 4% et 7% chez les autres) et l' α -humulène à 12% (contre 1% et 4%). Au sein du groupe *S. rubra 2*, les compositions chimiques sont plus homogènes, malgré un léger éloignement chimique des deux individus provenant de l'Acarouany. Cela vient de leur faible taux en α -copaène d'environ 7% quand celui des autres individus est à plus de 30%. Notons une teneur élevée en limonène pour l'individu provenant de Saut La Villette (28%).

Les deux groupes chimiques observés à l'analyse NMDS, se retrouvent à l'observation de la structuration des familles chimiques au sein de ces deux chémotypes. Le chémotype 2 est plus diversifié en composés de type monoterpéniques et en composés oxygénés alors que le chémotype 1 montre un composé de type benzénoïde – phénylpropanoïde. Le premier type montre peu de molécules communes comparativement au deuxième. Toutefois notons que les signatures chimiques des *Sextonia* ne sont pas particulièrement riches (25 composés par signature tout au plus). Les deux groupes restent tout de même proches car les molécules caractéristiques majoritaires sont les mêmes : α -copaène et β -caryophyllène. Au sein du chémotype 2, il y a plus de molécules caractéristiques et ces molécules montrent une abondance stable. Alors qu'au sein du chémotype 1 aucune stabilité n'est observée.

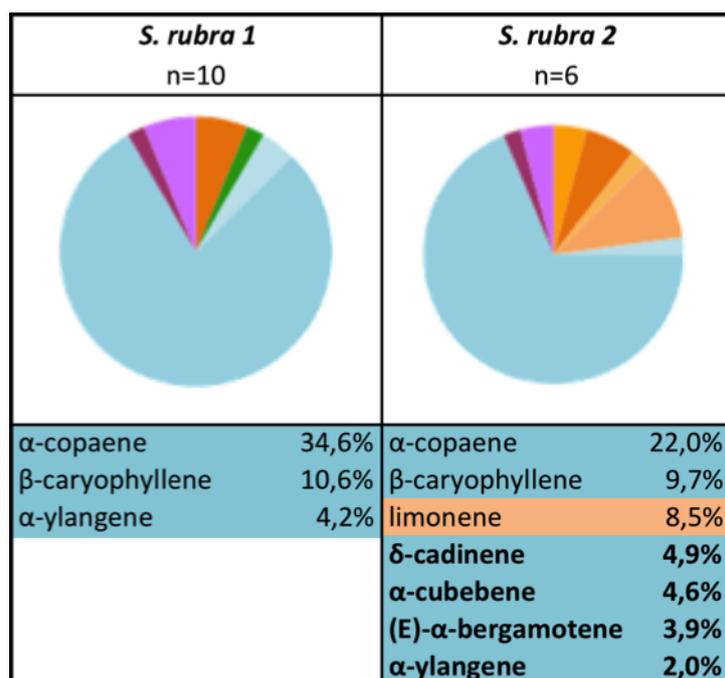


Tableau 27: Molécules caractéristiques, abondances et structuration chimique chez *Sextonia*

Les camemberts représentent les proportions des familles chimiques au sein du bouquet floral entier de l'espèce. En-dessous figure la liste des molécules communes à tous les individus de l'espèce et leur proportion moyenne. Le code couleur, similaire à celui utilisé p.155 Figure 53, indique la famille chimique.

Les individus du genre *Sextonia* présentent deux chémotypes statistiquement différents, ce qui semble en accord avec des observations de certains forestiers qui différencient deux types de grignon, qui pourtant appartiennent à l'espèce *S. rubra*. De plus, les compositions chimiques varient en fonction de la station de récolte de l'arbre.

4.8. Conclusion

L'utilisation de la signature chimique des écorces pour déterminer un genre ne semble par pertinente quoique certains genres présentent des molécules particulières. En effet, l'alcool benzylique n'est observé que chez le genre *Aniba* ou le sélina-4(15),6-diène, seulement chez *Ocotea*. Cependant ces molécules ne sont pas génériques.

Toutefois, si le genre est connu, il est possible dans la plupart des espèces, d'arriver à trouver des composés spécifiques qui pourraient servir de marqueurs pour l'identification. Par ailleurs, trois espèces (*L. cannella*, *O. indirectinervia* et *S. rubra*) présentent des chémotypes. D'autres espèces ont tendance à montrer des compositions dépendantes des stations de récolte. Cette tendance est à confirmer par un plus grand échantillonnage.

PARTIE III. GENETIQUE

Cette partie est consacrée à l'analyse des différences génétiques entre les genres de la famille des Lauracées et entre les espèces à l'intérieur des genres. La différenciation génétique est analysée au niveau de la séquence d'ADN en considérant, d'une part, chaque site nucléotidique séparément (analyse au niveau des SNP¹) et d'autre part, en considérant la séquence entière. En effet, l'arrangement des sites nucléotidiques polymorphes (SNP) le long de la séquence constitue une séquence particulière que l'on nomme haplotype. Le but est donc d'identifier des sites nucléotidiques ou des séquences particulières (haplotypes) qui soient informatifs du point de vue de l'identification d'un genre ou d'une espèce au sein de la famille des Lauracées.

I. L'ADN chloroplastique (ADNcp)

L'ADN est présent au sein de trois organites de la cellule végétale : le noyau (ADN nucléaire), les mitochondries (ADN mitochondrial) et les chloroplastes (ADN chloroplastique). Dans notre cas, c'est l'ADN chloroplastique (ADNcp) qui sera étudié.

Le chloroplaste possède son propre ADN. Cela lui permet une certaine autonomie, notamment, dans la synthèse des protéines nécessaires à son fonctionnement. L'ADN chloroplastique (ADNcp) est plus volumineux que l'ADN mitochondrial (ADNmt). L'ADNmt et l'ADNcp se présentent sous une forme circulaire (Figure 65). L'ADNcp contient peu de gènes, environ une centaine. Ceux-ci codent principalement pour la production d'énergie au sein de la plante. Il existe une centaine de copies de l'ADN circulaire dans le chloroplaste. Le génome contenu dans le chloroplaste présente une évolution lente pour les régions codantes c'est pourquoi il est préférentiellement choisi dans les études de barcoding.

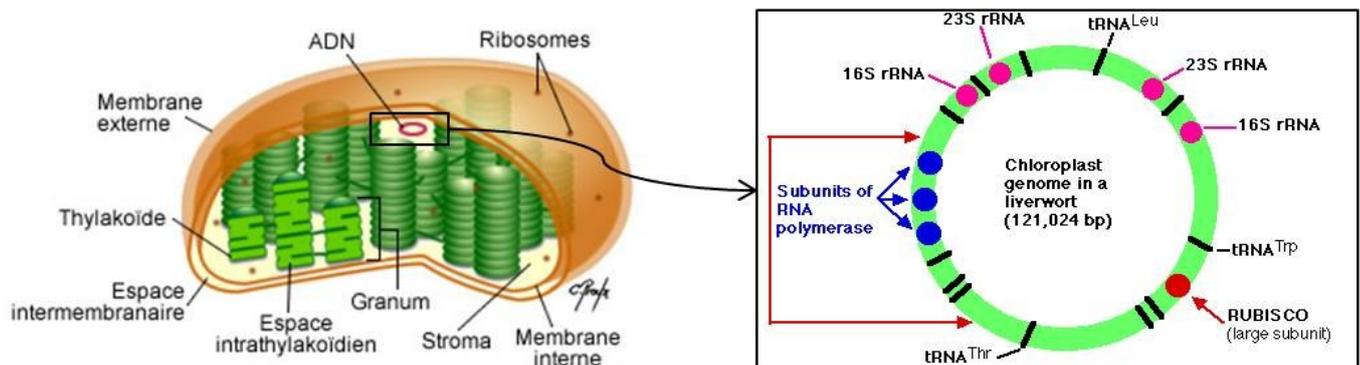


Figure 65: ADN chloroplastique circulaire

¹ SNP : Single Nucleotide Polymorphism ou Site nucléotidique présentant du polymorphisme, ce sont les sites recherchés pour la discrimination des espèces.

Le marqueur génétique utilisé est *trnH-psbA*, il appartient à une région non-codante de l'ADNcp. C'est un marqueur universel utilisé classiquement dans les études de barcoding et qui montre une efficacité de 70% environ pour les études d'identification à l'espèce (Hollingsworth et al. 2009). En effet, ce marqueur est fortement polymorphe, facilement amplifiable et permet d'obtenir des séquences de longueur moyenne (environ 500 pb). Cependant, la qualité des séquences dans les deux directions (3' et 5') de l'ADN n'est pas constante.

II. Matériel et méthodes

1. Matériel

Le marqueur ADN choisi est le marqueur *trnH-psbA*. Les séquences analysées proviennent d'une part de la base de données obtenue dans le cadre d'un projet innovant financé par l'INRA (Henri Caron) et d'autre part, de la base de données publique du NCBI. Le jeu de données est constitué de 127 séquences d'une longueur moyenne de 362 paires de base, délétions incluses. Les sept genres étudiés dans cette thèse sont présents (Tableau 28). Ils constituent un total de 28 espèces représentées par 4 individus en moyenne (entre 2 et 8 individus).

	Espèce	Effectif		Espèce	Effectif	
Aniba	<i>A. citrifolia</i>	4	Ocotea	<i>O. argyrophylla</i>	4	
	<i>A. hostmanniana</i>	6		<i>O. ceanothifolia</i>	6	
	<i>A. panurensis</i>	2		<i>O. cernua</i>	4	
	<i>A. parviflora</i>	4		<i>O. indirectinervia</i>	5	
	<i>A. terminalis</i>	5		<i>O. cinerea</i>	5	
	<i>A. williamsii</i>	4		<i>O. nigra</i>	4	
Endlicheria	<i>E. melinonii</i>	6		<i>O. percurrens</i>	4	
Licaria	<i>L. cannella</i>	8		<i>O. sp12</i>	3	
	<i>L. chrysophylla</i>	5		<i>O. splendens</i>	2	
	<i>L. guianensis</i>	3		<i>O. tomentella</i>	7	
	<i>L. martiniana</i>	4		Rhodostemonodaphne	<i>R. grandis</i>	7
	<i>L. sp3</i>	3			<i>R. kunthiana</i>	2
Mezilaurus	<i>M. sp1</i>	4	<i>R. morii</i>		4	
Sextonia	<i>S. rubra</i>	7	<i>R. rufovirgata</i>		5	

Tableau 28: Liste et effectif des espèces étudiées pour l'identification par barcoding

L'alignement des séquences d'ADN a révélé la présence de mutations complexes de type insertion/délétion et des inversions de morceaux de séquences entre certains individus. Afin de considérer ces mutations comme un seul événement de mutation, nous avons modifié chaque séquence de la façon suivante:

- les inversions ont été recherchées et considérées comme un seul événement
- les insertions ou délétions successives ont été réduites à un événement

D'autre part, nous avons aussi détecté des régions hautement polymorphes constituées de plusieurs répétitions d'un seul nucléotide (poly T en particulier). Ces parties de séquences ont été éliminées de l'analyse en raison de leur mauvaise qualité de lecture.

2. Méthodes d'analyse de génétique des populations

Afin d'identifier des séquences ou des sites nucléotidiques spécifiques d'un genre voire d'une espèce, nous avons utilisé différents outils classiques de génétique des populations permettant de décrire et d'analyser notre jeu de données. Il s'agit ici de s'intéresser à la notion de différenciation entre les populations (les populations caractérisent dans notre cas les genres ou bien les espèces).

Le F_{ST} permet d'estimer la différenciation entre deux populations. Il est compris entre 0 et 1. Lorsqu'il est égal à 1, cela veut dire que les deux populations comparées n'ont aucun allèle en commun et sont donc totalement différenciées, c'est ce que l'on recherche.

Le F_{ST} se calcule de la façon suivante (Nei 1977):

$$F_{ST} = \frac{H_T - H_S}{H_T}$$

H_T : Diversité génétique totale des deux populations
 H_S : Moyenne des diversités de chaque population

La diversité génétique intrapopulation noté H , est similaire à l'indice de Simpson utilisé en écologie (référence) elle est égale à la probabilité de tirer au hasard deux allèles différents dans la population. Elle se calcule comme suit :

$$H = 1 - \sum_{i=1}^{i=k} p^2$$

p : fréquence moyenne de l'allèle i au site nucléotidique K dans la population considéré

Pour obtenir H_S , la valeur de H est moyennée sur toutes les populations. Lorsque $H_S=0$, cela veut dire que la diversité au sein de chaque population est nulle.

D'après Wright (Wright 1965):

- $0 < F_{ST} < 0,05$: différenciation faible
- $0,05 < F_{ST} < 0,15$: différenciation modérée
- $0,15 < F_{ST} < 0,25$: différenciation importante
- $F_{ST} > 0,25$: différenciation très importante

Dans le cas de notre étude, nous définissons trois classes de F_{ST} :

- $0 < F_{ST} < 0,15$: différenciation faible
- $0,15 \leq F_{ST} < 0,25$: différenciation importante
- $F_{ST} \geq 0,25$: différenciation très importante

Pour être en mesure de différencier totalement deux populations, il faut que certaines mutations ne soient pas partagées. Dans le cas où $H_s=0$ et $F_{ST}=1$, les deux populations sont monomorphes pour des allèles différents. Les populations sont alors parfaitement identifiables. Toutefois, les populations comparées peuvent être très polymorphes pour des allèles différents, ce qui permet aussi de différencier correctement les populations étudiées. Les valeurs de F_{ST} seront comparées aux différences fixées.

La différenciation génétique a été étudiée au niveau nucléotidique et au niveau haplotypique (séquences entières) avec le logiciel DNAsp (Librado and Rozas 2009). De plus, afin de visualiser les données de différenciation génétique, des analyses de positionnement multidimensionnel ont été effectuées comme dans les parties chimie et anatomie. Les distances prises en compte sont les valeurs de F_{ST} .

III. Résultats et analyses

1. Etude du polymorphisme génétique

Deux genres sont monomorphes: *Mezilaurus* et *Sextonia*. Ils présentent respectivement 4 et 7 individus par espèce. Il s’agit aussi des genres les mieux soutenus dans la phylogénie. Lorsqu’on observe le polymorphisme génétique des séquences étudiées, on se rend compte de la forte variabilité entre les genres et entre espèces du même genre (Figure 66). Par exemple, le genre *Aniba* qui est en moyenne le moins polymorphe, présente l’espèce la plus polymorphe de l’étude, *A. terminalis*. Après *Aniba* il y a, par ordre croissant de polymorphisme des genres, *Licaria*, *Ocotea* et *Rhodostemonodaphne*.

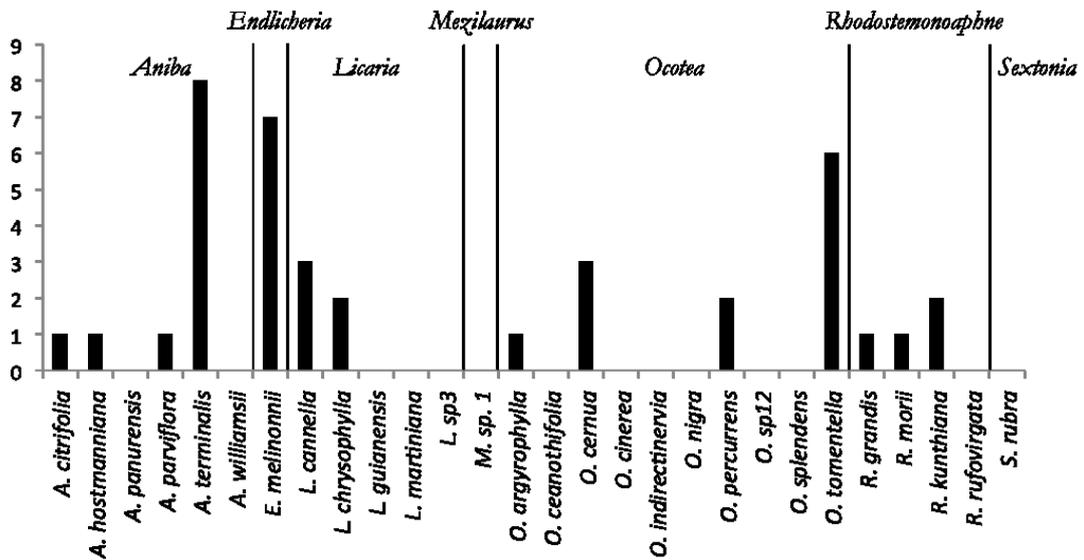


Figure 66: Nombre de sites polymorphes par espèces

Sur les 127 séquences de 362 paires de bases (pb), 22 sites nucléotidiques sont polymorphes (SNPs). Six de ces SNPs (32, 34, 35, 51, 194, 222) sont caractérisés par un

polymorphisme impliquant 2 allèles et 16 SNPs (13, 17, 28, 33, 39, 60, 84, 86, 105, 121, 131, 147, 178, 200, 216, 221) présentent un polymorphisme impliquant 3 allèles.

2. Diversité génétique et différenciation génétique

2.1. Intergenres

2.1.a. Niveau nucléotidique

Sur le Tableau 29, figurent les valeurs de différenciation génétique intergenres (F_{ST}) dans la partie triangulaire basse et les valeurs de diversité génétique moyenne intra genre calculées pour chaque paire de genres (H_S) dans la partie triangulaire haute. Les valeurs de F_{ST} en gras sont celles associées à des différences fixées, le fond rouge indique une grande différenciation génétique ($> 0,25$).

Malgré de fortes valeurs de la diversité génétique moyenne intragenres, la différenciation génétique intergenres reste forte. En effet, l'observation des valeurs du F_{ST} , nous indique une différenciation très importante au niveau nucléotidique entre presque tous les genres. Celle-ci est maximale entre *Mezilaurus* et *Sextonia* ($F_{ST}=1$ et $H_S=0$). Ces deux genres présentent par ailleurs une très bonne différenciation génétique avec les autres genres. Le genre *Rhodostemonodaphne* est aussi très différencié génétiquement d'*Aniba*, *Licaria* et *Ocotea*. Le nombre de différences fixées varie de 2 (*Licaria* vs. *Rhodostemonodaphne* ou *Aniba* vs. *Rhodostemonodaphne*) à 21 (*Endlicheria* vs. *Sextonia*).

	Aniba	Endlicheria	Licaria	Mezilaurus	Ocotea	Rhodostemonodaphne	Sextonia
Aniba		0,64	0,54	0,57	0,72	0,61	0,51
Endlicheria	0,29		0,50	0,49	0,77	0,63	0,33
Licaria	0,46	0,35		0,41	0,67	0,52	0,36
Mezilaurus	0,78	0,65	0,78		0,74	0,53	0
Ocotea	0,56	0,36	0,44	0,70		0,73	0,45
Rhodostemonodaphne	0,57	0,06	0,67	0,88	0,66		0,70
Sextonia	0,65	0,47	0,08	1,00	0,52	0,82	

Tableau 29 : Valeurs de différenciation génétique entre genres (F_{ST}) et diversité génétique moyenne (H_S) intra genre pour chaque paire de genres

Les valeurs sous la diagonale sont les F_{ST} et au dessus les H_S . En gras indiquent les valeurs correspondant à des différences fixées et celles en rouge à un F_{ST} très important

Afin de visualiser le positionnement relatif des genres, une analyse de positionnement multidimensionnel non-métrique a été menée sur les matrices de différenciation génétique (F_{ST}) (Figure 67). Le stress du NMDS est faible (0,16). L'analyse reflète donc bien la réalité. Les genres les plus éloignés les uns des autres sont *Rhodostmonodaphne*, *Sextonia* et *Mezilaurus*, tandis qu'*Aniba*, *Endlicheria*, *Licaria* et *Ocotea* sont les plus proches comme indiqué dans la partie basse du Tableau 28.

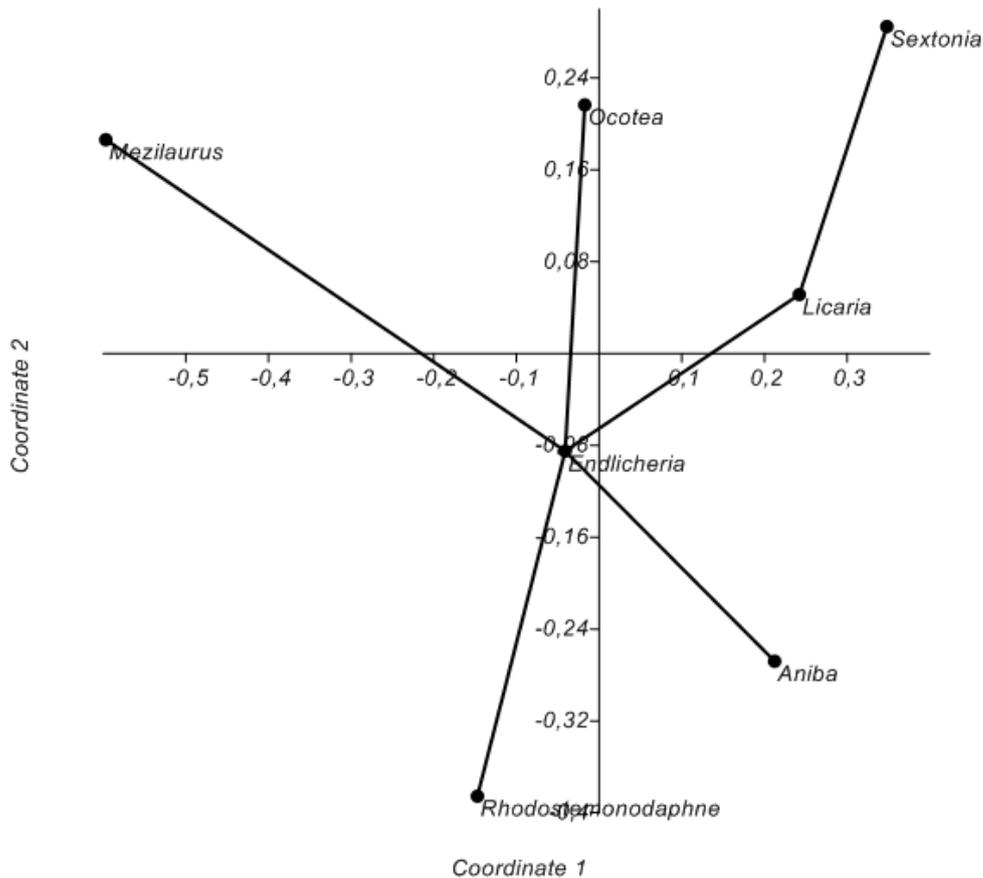


Figure 67: Représentation schématique du positionnement relatif des genres et de leurs relations à partir de la différenciation génétique (F_{ST})

2.1.b. Niveau haplotypique

Les haplotypes associés à chaque genre et qui correspondent à la séquence consensus obtenue à partir de l'ensemble des individus présents dans chaque genre sont donnés dans le Tableau 30. Un haplotype est une séquence des sites nucléotidiques variables entre les populations considérées (espèces, genres ou consensus). Dans le cas des séquences consensus (composés des sites nucléotidiques les plus fréquents), un haplotype par genre est observé et permet donc d'identifier le genre. Ce n'est pas le cas dans la définition des haplotypes à partir des séquences individuelles (Tableau 31).

	<i>Aniba</i>	<i>Endlicheria</i>	<i>Licaria</i>	<i>Mezilaurus</i>	<i>Ocotea</i>	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>Sextonia</i>
13	G	.	.	T	.	.	T
16	A	.	.	T	.	.	T
32	C	.	.	T	.	.	.
38	A	.	.	.	T	.	.
39	G	.	.	.	.	.	A
59	G	.	A	A	A	A	A
83	C	.	.	T	.	.	T
85	G	.	.	A	.	.	A
120	T	.	.	C	.	.	C
146	A	.	.	G	.	.	G
151	G	-	.	-	.	-	-
152	G	.	.	.	.	.	A
177	A	G	.	.	.	G	.
186	C	.	.	T	.	.	T
199	C	.	.	T	.	.	T
212	T	.	.	-	.	.	-
215	T	.	.	G	.	.	G
227	G	.	.	T	.	T	T
238	T	A	A	A	A	A	A
248	G	.	.	T	.	.	T
249	C	.	.	G	.	.	G
251	T	.	.	-	.	.	-
255	T	.	.	G	.	.	G
257	C	.	.	T	.	.	T
258	-	.	.	T	.	.	T
259	A	.	.	G	.	.	G
260	A	.	.	G	.	.	G
267	G	.	T	-	.	.	-
268	A	.	.	C	.	.	C
290	C	.	.	T	.	.	T
298	A	.	.	G	.	.	G
299	G	.	.	A	.	.	A
301	-	.	.	T	.	.	T
304	G	.	.	A	.	.	A
306	-	.	.	T	.	.	T
310	A	.	.	C	.	.	C
324	C	A	.	A	.	A	A
341	T	.	.	C	.	.	C
351	A	.	.	C	.	.	.

Tableau 30 : Haplotypes associés à la séquence consensus de chaque genre

GENETIQUE

13	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T	T
17	A	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T	T
28	T	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
32	T	.	.	C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
33	C	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T	.
34	G	.	.	C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
35	T	.	.	G	.	.	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
39	A	.	.	.	.	.	.	.	.	T	T	.	.	.	.	.	.	.
51	A	.	.	.	.	.	A	.	.	C	.	.	.	.	.	.	.	.
60	G	.	A	A	.	.	.	.	A	.	A	A	A	A	.	A	A	A
84	C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T	T
86	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	A
105	A	.	.	.	.	.	.	.	C	.	.	C	.	.	C	.	.	.
121	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	C	C
130	C	.	.	.	.	G	.	.	.	.	G	.	.	.	.	.	.	.
131	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
147	A	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	G	G
178	A	.	.	.	G	G	.	.	.	.	.	G	G	G	.	.	.	.
194	A	.	.	.	.	.	.	.	.	C	.	.	.	.	.	.	.	.
200	C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T	T
213	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	A	A
216	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	G	G
221	T	.	.	.	.	.	.	G	.	G	.	.	.	.	.	.	.	.
222	T	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	C	.	.	.	.	.
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
<i>A. citrifolia</i>	4																	
<i>A. hostmanniana</i>		6																
<i>A. panurensis</i>	2																	
<i>A. parviflora</i>	4																	
<i>A. terminalis</i>		3	1	1														
<i>A. williamsii</i>	4																	
<u><i>E. melinonii</i></u>					3	1	2											
<i>L. cannella</i>		3	4					1										
<i>L. chrysophylla</i>			4						1									
<i>L. guianensis</i>			3															
<i>L. martiniana</i>			4															
<i>L. sp3</i>			3															
<u><i>M. sp1</i></u>																	4	
<i>O. argyrophylla</i>							4											
<i>O. ceanothifolia</i>							6											
<u><i>O. cernua</i></u>								3		1								
<i>O. indirectinervia</i>								5										
<i>O. cinerea</i>											5							
<u><i>O. nigra</i></u>												4						
<i>O. percurrens</i>								2				2						
<i>O. sp12</i>								3										
<i>O. splendens</i>								2										
<u><i>O. tomentella</i></u>								1			6		1					
<u><i>R. grandis</i></u>					3										4			
<u><i>R. kunthiana</i></u>					1											1		
<i>R. morii</i>					4													
<i>R. rufovirgata</i>					5													
<u><i>S. rubra</i></u>																		7

Tableau 31: Haplotype par individu, sur tous les arbres échantillonnés

Les haplotypes de couleur rouge sont observés au sein d'un genre seulement. Les espèces soulignées présentent au moins un haplotype unique.

Sur 17 haplotypes observés, 12 sont spécifiques à un genre seulement, c’est à dire qu’ils seront retrouvés uniquement dans ce genre. Par exemple, les haplotypes H1 et H4 ne sont retrouvés que chez *Aniba*.

Notons que les *Sextonia* ont été récoltés sur 3 sites différents. Il n’y a donc visiblement pas de différenciation génétique liée au lieu de récolte chez les individus de *Sextonia* étudiés. Ce phénomène sera détaillé sur reste des espèces par la suite, dans la partie III.2.2 p. 205.

Le barcoding au genre peut donc fonctionner chez certains genres : *Mezilaurus* et *Sextonia*. Chez les *Rhodostemonodaphne*, les *Licaria*, et les *Aniba*, la méthode est moins performante mais peut quand même marcher car les haplotypes qu’ils présentent n’appartiennent souvent qu’à deux genres différents. En revanche, *Endlicheria* et *Ocotea* sont plus problématiques car confondus avec plusieurs autres genres. Il s’agit maintenant de voir si au sein d’un genre, cette méthode peut être utilisée pour identifier une espèce, le genre connu au préalable.

2.2. Intra-genres

2.2.a. *Aniba*

Six espèces ont été étudiées. Elles représentent 25 individus échantillonnés sur la Piste de Saint-Elie (22), les Nouragues (2) et d’un lieu de prélèvement inconnu (1).

i. Niveau nucléotidique

Les valeurs des différenciations génétiques et diversités sont indiquées dans le Tableau 32. En rouge, les valeurs très importantes de F_{ST} , la plupart des couples sont différenciés. Le couple *A. williamsii* / *A. panurensis* est celui dont la différenciation est maximale ($F_{ST}=1$, $H_S=0$) et l’espèce *A. citrifolia* ne peut être différenciée de l’espèce *A. panurensis*.

	<i>A. citrifolia</i>	<i>A. hostmanniana</i>	<i>A. panurensis</i>	<i>A. parviflora</i>	<i>A. terminalis</i>	<i>A. williamsii</i>
<i>A. citrifolia</i>		0,57	0,50	0,59	0,74	0,25
<i>A. hostmanniana</i>	0,27		0,60	0,62	0,73	0,4
<i>A. panurensis</i>	0,00	0,40		0,67	0,90	0
<i>A. parviflora</i>	0,22	-0,27	0,33		0,81	0,33
<i>A. terminalis</i>	0,25	0,12	0,27	0,11		0,54
<i>A. williamsii</i>	0,89	0,80	1,00	0,78	0,14	

Tableau 32 : Valeurs de différenciation génétique entre espèces (F_{ST}) et diversité génétique moyenne (H_S) intra espèces pour chaque paire d’espèces appartenant au genre *Aniba*

Les valeurs sous la diagonale sont les F_{ST} et au dessus les H_S . En gras indiquent les valeurs correspondant à des différences fixées, celles en orange, à un F_{ST} important, et celles en rouge à un F_{ST} très important

A. williamsii et *A. panurensis* montrent 2 différences fixées sur les sites nucléotidiques 28 et 239 (*A. williamsii* : CA et *A. panurensis* : TT). Les autres couples d'espèces présentent de 0 à 3 différences fixées. La plupart des espèces montrent des SNP avec des différences fixées.

Sur le positionnement multidimensionnel des espèces du genre *Aniba*, la différenciation génétique en moyenne plus grande d'*A. williamsii* est bien observée (Figure 68). Les espèces *A. citrifolia* et *A. panurensis* sont bien les plus proches. Le stress du NMDS est très faible (0,03).

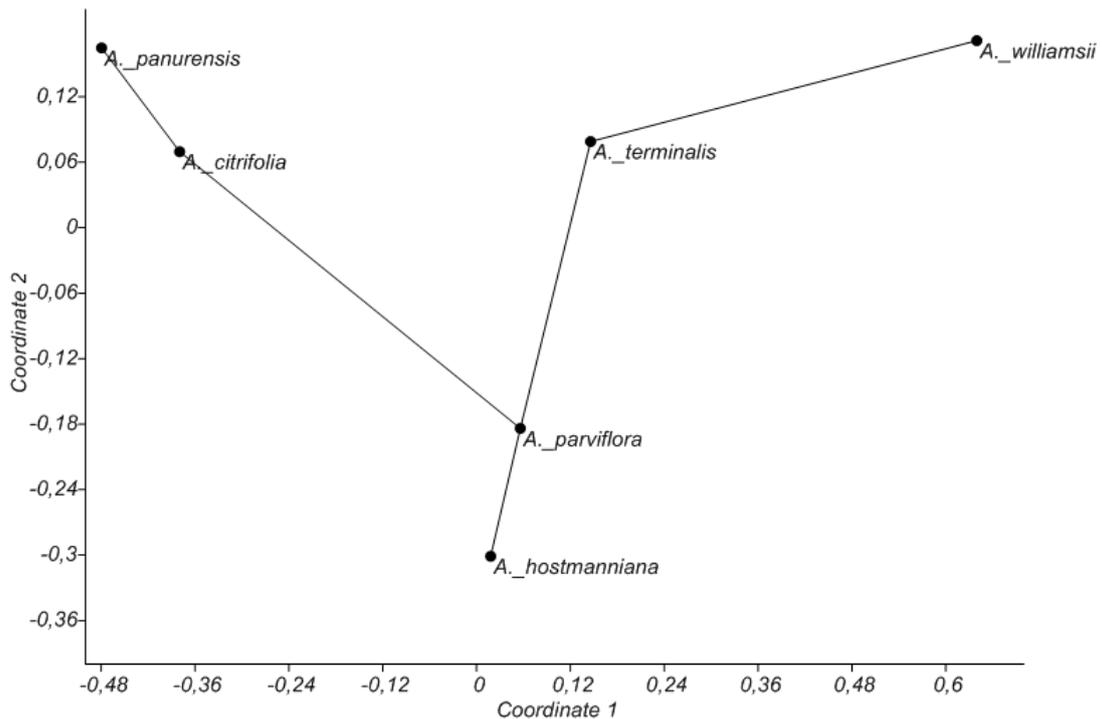


Figure 68 : Représentation schématique du positionnement relatif des espèces du genre *Aniba* et de leurs relations à partir de la différenciation génétique (F_{ST})

ii. Niveau haplotypique

Sur le Tableau 33, figurent les huit haplotypes définis dans *Aniba* et qui reposent sur des combinaisons d'allèles observés au niveau de 9 SNPs. Pour chaque espèce, le nombre d'individu associé à chaque haplotype est donné.

28	T	C	C	.	C	C	C	C	
32	T	.	.	.	.	C	.	.
33	C	.	.	.	.	T	.	.
34	G	.	.	.	.	C	.	.
35	T	.	.	.	.	G	.	.
60	G	.	.	.	A	A	.	.	
184	C	.	.	.	.	.	T	.
233	T	.	G	G	G	G	G	G	
239	T	.	.	.	A	A	A	A	
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
<i>A. citrifolia</i>		4							
<i>A. hostmanniana</i>			3	3					
<i>A. panurensis</i>		2							
<i>A. parviflora</i>		2		2					
<i>A. terminalis</i>			2			1	1	1	
<i>A. williamsii</i>									4

Tableau 33 : Répartition des 8 haplotypes au sein des individus du genre *Aniba*

Sur les 8 haplotypes, quelques-uns sont communs à plusieurs espèces. Au sein du genre *Aniba*, une seule espèce possède un haplotype unique permettant de l'identifier, il s'agit d'*A. williamsii*. Les haplotypes H3, H4, H5, H6, H7 sont aussi spécifiques à une espèce mais ne contiennent pas tous les individus de l'espèce. H3 est présent seulement chez *A. hostmanniana*, H4, chez *A. parviflora*, H5, H6 et H7, seulement chez *A. terminalis*. Cela fait 6 haplotypes sur 8 qui sont monospécifiques.

Les haplotypes chez *A. hostmanniana* ne sont pas dépendants de la localité. Peut-être est-ce le cas chez *A. terminalis* dont l'haplotype H7 correspond à l'individu récolté aux Nouragues.

2.2.b. *Endlicheria*

Ce genre ne présente qu'une seule espèce : *E. melinonii*. L'espèce est très polymorphe car elle présente 5 haplotypes pour 6 individus (Tableau 34). Les deux individus portant l'haplotype 5 sont tous deux issus de parcelles du Bafog, et les 4 autres (4 haplotypes différents) de la Piste de Saint-Elie. L'hypothèse d'une grande diversité Piste de Saint-Elie et d'un haplotype spécifique au Bafog peut être posée et à confirmer par plus d'échantillons.

39	A	.	T	T	.	
60	G	.	A	A	.	
130	C	-	.	.	.	
152	C	.	G	G	.	
177	C	-	.	.	.	
178	G	.	A	A	.	
184	C	-	.	.	.	
187	C	T	.	.	.	
214	C	-	.	.	.	
220	-	.	C	C	C	
239	A	.	-	.	.	
255	T	.	.	G	.	
329	A	.	C	C	.	
		H1	H2	H3	H4	H5
<i>E. melinonii</i>		1	1	1	1	2

Tableau 34 : Répartition des 5 haplotypes au sein des individus du genre *Endlicheria*

2.2.c. *Licaria*

Cinq espèces, dont un morphotype (*L. sp. 3*), représentant 22 individus ont été étudiées. Les provenances des séquences sont diverses : Piste de Saint-Elie (18), Nouragues (1), Bafog (2) et Andes (1).

i. Niveau nucléotidique

Au niveau des SNPs, les valeurs des différenciations interespèces sont assez élevées, sauf au sein des couples *L. guianensis* / *L. martiniana* et *L. chrysophylla* / *L. sp. 3*. qui semblent confondues. Il n'existe aucune diversité intraspécifique pour les couples *L. martiniana* – *L. guianensis*, *L. sp. 3* / *L. guianensis* et *L. sp. 3* / *L. martiniana* (Tableau 35).

	<i>L. cannella</i>				
<i>L. cannella</i>		0,69	0,58	0,51	0,58
<i>L. chrysophylla</i>	0,19		0,53	0,42	0,53
<i>L. guianensis</i>	0,64	0,71		0,00	0,00
<i>L. martiniana</i>	0,64	0,71	0,00		0,00
<i>L. sp3</i>	0,28	0,00	1,00	1,00	

Tableau 35 : Valeurs de différenciation génétique entre espèces (F_{ST}) et diversité génétique moyenne (H_s) intra espèces pour chaque paire d'espèces appartenant au genre *Licaria*

Les valeurs sous la diagonale sont les F_{ST} et au dessus les H_s . En gras indiquent les valeurs correspondant à des différences fixées, celles en orange, à un F_{ST} important, et celles en rouge à un F_{ST} très important

Seule l'espèce *L. cannella* ne présente pas de différences fixées avec les autres espèces. Les trois espèces présentant des différences nucléotidiques fixées et monomorphes sont *L. guianensis*, *L. martiniana* et *L. sp. 3*. Cette différenciation est illustrée Figure 69. On voit que les espèces *L. martiniana* et *L. guianensis* sont confondues. Le stress de l'analyse est faible (0,10).

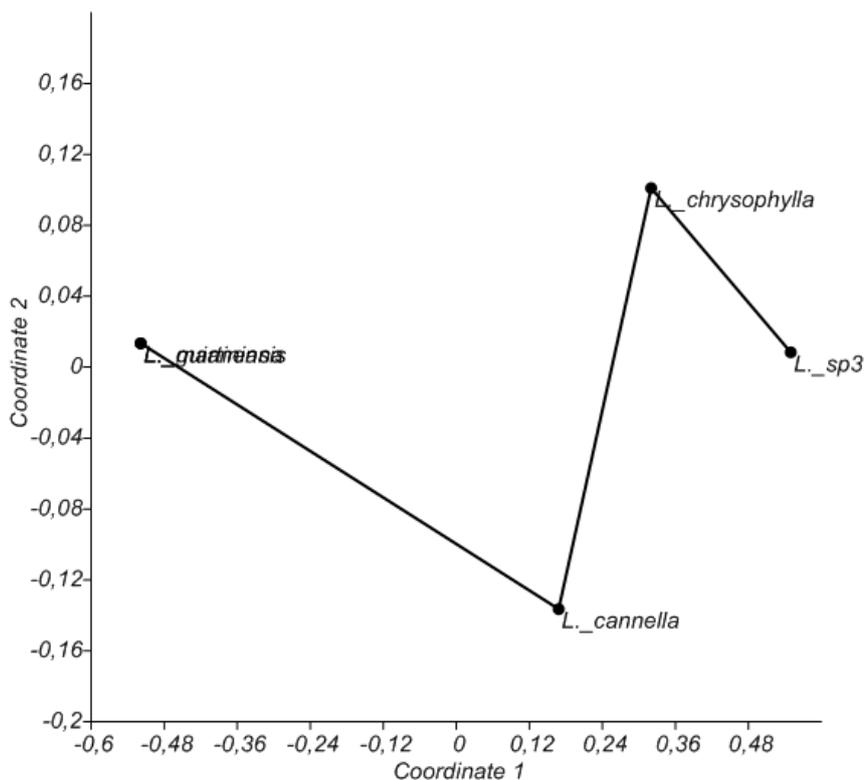


Figure 69 : Représentation schématique du positionnement relatif des espèces du genre *Licaria* et de leurs relations à partir de la différenciation génétique (F_{ST})

ii. Niveau haplotypique

Au niveau haplotypique, *L. sp. 3* se distingue de *L. martiniana* et *L. guianensis* qui ont le même haplotype (Tableau 36). *L. sp. 3* partage son haplotype avec *L. chrysophylla* et *L. cannella* mais tous ces individus présentent un seul et unique haplotype.

60	G	.	A	A	A	
105	A	.	.	C	.	
221	T	G	.	.	.	
233	G	T	.	.	T	
		H1	H2	H3	H4	H5
<i>L. cannella</i>		3	1	4		
<i>L. chrysophylla</i>				4	1	
<i>L. guianensis</i>						3
<i>L. martiniana</i>						4
<i>L. sp3</i>				3		

Tableau 36 : Répartition 5 haplotypes au sein des individus du genre *Licaria*

L. chrysophylla et *L. cannella* présentent plusieurs haplotypes, dont l'haplotype H3, commun à ces espèces. H1, H2 sont spécifiques à *L. cannella* et H4 est spécifique à *L. chrysophylla*.

Chez les *L. cannella*, les espèces présentent un haplotype par lieu de récolte : H1 correspond aux individus récoltés au Bafog et à une séquence originaire des Andes, H2 à l'individu récolté aux Nouragues et H3 à ceux récoltés Piste de Saint-Elie. De même, l'individu de l'espèce *L. chrysophylla* appartenant à l'haplotype H4 est celui récolté aux Nouragues alors que les autres individus appartenant à l'haplotype H3 proviennent de la Piste de Saint-Elie. Au sein de ce genre, on peut dire qu'il existe une différenciation génétique liée au site.

2.2.d. *Ocotea*

Quarante-quatre individus appartenant à 10 espèces ont été analysés.

i. Niveau nucléotidique

Au niveau nucléotidique, les espèces les plus différenciées sont *O. cernua* et *O. sp. 12*, avec la majorité des F_{ST} entre ces espèces et les autres espèces d'*Ocotea* égaux à 1 (Tableau 37). *O. cernua* montre de 2 à 6 différences fixées avec toutes les autres espèces d'*Ocotea*. *Ocotea sp. 12* montre aussi des différences fixées avec presque toutes les autres espèces (0 à 4 différences fixées).

Sur tous les couples d'espèces, 9 présentent une différenciation optimale ($F_{ST}=1$ et $H_s=0$) montrant d'une à 6 différences fixées :

- 6 différences fixées : sites 39, 60, 221, 229, 233 et 239 (*O. cernua* : AGGAGT et *O. splendens* : TATGTA).
- 5 différences fixées : sites 39,60, 221, 247 et 248 (*O. cernua* : AGGAA et *O. sp. 12* : TATTT)
- 4 différences fixées : sites 39, 60, 105 et 221 (*O. cernua* : AGAG et *O. nigra* : TACT)
- 3 différences fixées : sites 39, 60 et 221 (*O. cernua* : AGG et *O. indirectinervia* : TAT) ou sites 131, 247 et 248 (*O. cinerea* : GAA et *O. sp. 12* : TTT)
- 2 différences fixées : sites 247 et 248 (*O. sp. 12* : TT, *O. indirectinervia* et *O. ceanothifolia* : AA) ou sites 239 et 233 (*O. percurrens* : AG et *O. splendens* : GT)
- 1 différence fixée : site 131 (*O. cernua* : T et *O. cinerea* : G)

	<i>O. argyrophylla</i>	<i>O. ceanothifolia</i>	<i>O. cernua</i>	<i>O. cinerea</i>	<i>O. indirectinervia</i>	<i>O. nigra</i>	<i>O. percurrrens</i>	<i>O. sp12</i>	<i>O. splendens</i>	<i>O. tomentella</i>
<i>O. argyrophylla</i>		0,17	0,50	0,20	0,20	0,25	0,58	0,33	0,50	0,65
<i>O. ceanothifolia</i>	0,00		0,17	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,40
<i>O. cernua</i>	0,50	0,57		0,20	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,45
<i>O. cinerea</i>	0,80	1,00	0,73		0,20	0,00	0,27	0,00	0,00	0,46
<i>O. indirectinervia</i>	0,00	0,00	1,00	0,57		0,25	0,33	0,00	0,00	0,51
<i>O. nigra</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,57		0,58	0,44	0,67	0,70
<i>O. percurrrens</i>	0,27	0,33	0,33	0,33	0,33	0,48		0,33	0,00	0,60
<i>O. sp12</i>	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,73		0,50	0,71
<i>O. splendens</i>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,33	1,00	0,57		0,65
<i>O. tomentella</i>	0,25	0,33	0,05	0,33	0,33	0,06	0,61	0,33	0,41	

Tableau 37 : Valeurs de différenciation génétique entre espèces (F_{ST}) et diversité génétique moyenne (H_S) intra espèces pour chaque paire d'espèces appartenant au genre *Ocotea*

Les valeurs sous la diagonale sont les F_{ST} et au dessus les H_S . Celles en gras indiquent les valeurs correspondant à des différences fixées et celles en rouge à un F_{ST} très important

Ces premières observations permettent de distinguer une fois de plus *O. cernua*, qui se distinguait dès l'analyse des haplotypes de tous les individus tous genres confondus (III.2.1 p. 201). La représentation schématique de la Figure 70 permet de visualiser les positions relatives des espèces entre elles. Le stress du NMDS est moyennement fort (0,32). Ce positionnement ne représente donc pas l'exacte réalité des positions relatives des espèces.

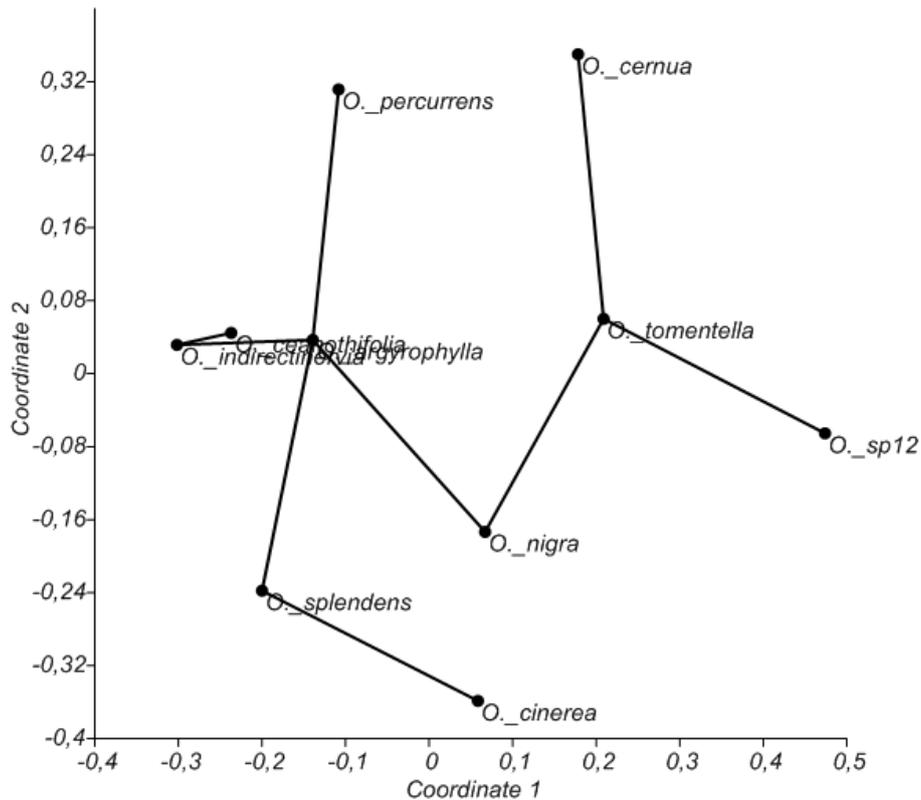


Figure 70 : Représentation schématique du positionnement relatif des espèces du genre *Ocotea* et de leurs relations à partir de la différenciation génétique (F_{st})

ii. Niveau haplotypique

Au niveau haplotypique les observations au niveau nucléotidique se confirment. Les espèces *O. cernua*, *O. nigra* et *O. splendens* présentent des haplotypes uniques (respectivement : H3 et H4 ; H6 ; H7). Au total, le genre *Ocotea* présente sept haplotypes (Tableau 38). L'haplotype 1 est le plus fréquent chez les *Ocotea*. Chez *O. tomentella*, un haplotype est présent chez un individu uniquement.

39	T	A	A	.	.	.	A	
51	A	C	.	.	.	.	.
60	A	G	G	.	.	.	.
90	A	C	.	.	.	.	.
105	A	.	.	.	C	.	.	
131	T	.	.	¹	.	.	.	
178	A	.	.	-	.	.	G	
194	A	C	.	.	.	.	.
221	T	G	G	.	.	.	.
222	T	.	.	.	.	.	C
225	A	.	.	.	.	.	C
227	A	.	.	.	-	.	.	
228	G	.	.	.	-	.	.	
229	A	.	.	.	-	G	.	
233	G	.	.	.	.	T	.
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<i>O. argyrophylla</i>		4						
<i>O. ceanothifolia</i>		6						
<i>O. cernua</i>			1	3				
<i>O. cinerea</i>					5			
<i>O. indirectinervia</i>			5					
<i>O. nigra</i>						4		
<i>O. percurrens</i>		2			2			
<i>O. sp12</i>		3						
<i>O. splendens</i>							2	
<i>O. tomentella</i>		1			5			1

Tableau 38 : Répartition des 7 haplotypes au sein des individus du genre Ocotea

Les individus de l'espèce *O. argyrophylla* proviennent de deux localités, cela n'est pas notable au niveau haplotypique car l'espèce présente un haplotype uniquement. De même, chez *O. percurrens*, la répartition des individus ne coïncide pas avec les lieux de récolte.

L'individu d'*O. tomentella* présentant l'haplotype H7 est issu d'un site différent des autres arbres de cette espèce. Cependant, l'individu présentant l'haplotype H1 est issu de la Piste de Saint-Elie comme 3 des individus de l'haplotype H4.

Pour le genre *Ocotea*, la localité ne semble pas liée à la différenciation haplotypique.

2.2.e. *Rhodostemonodaphne*

Quatre espèces et 18 individus sont étudiés, provenant de 3 sites différents : Piste de Saint-Elie (14), Bafog (1), Acarouany (1), Nouragues (1) et Andes (1).

¹ _ : délétion

i. Niveau nucléotidique

Au niveau des SNPs, aucune de ces espèces ne présente de différences fixées monomorphes. La plus grande valeur de F_{ST} est observée entre *R. grandis* et *R. morii* (0,5). La différenciation entre espèces est donc modérée (Tableau 39). Entre certains couples d'espèces, il n'y a aucune différenciation nucléotidique, ils forment des populations monomorphes.

	<i>R. grandis</i>	<i>R. kunthiana</i>	<i>R. morii</i>	<i>R. rufovirgata</i>
<i>R. grandis</i>		0,57	0,48	0,36
<i>R. kunthiana</i>	0,18		0,00	0,00
<i>R. morii</i>	0,48	0,00		0,00
<i>R. rufovirgata</i>	0,36	0,00	0,00	

Tableau 39 : Valeurs de différenciation génétique entre espèces (F_{ST}) et diversité génétique moyenne (H_s) intra espèces pour chaque paire d'espèces appartenant au genre *Rhodostemonodaphne*

Les valeurs sous la diagonale sont les F_{ST} et au dessus les H_s . En gras indiquent les valeurs correspondant à des différences fixées, celles en orange, à un F_{ST} important, et celles en rouge à un F_{ST} très important

La représentation schématique du positionnement des espèces de *Rhodostemonodaphne* montre bien que l'espèce *R. grandis* est la plus différenciée des autres (Figure 71). Le couple le plus différencié est bien *R. grandis* / *R. morii*. Le stress de l'analyse est moyennement fort (0,26).

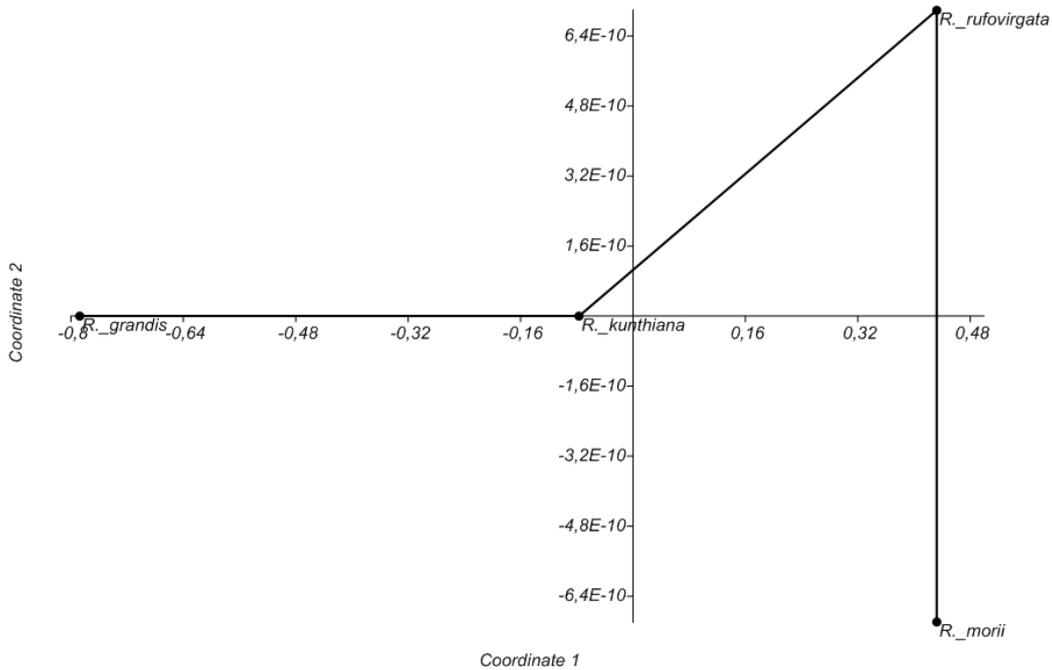


Figure 71 : Représentation schématique du positionnement relatif des espèces du genre *Rhodostemonodaphne* et de leurs relations à partir de la différenciation génétique (F_{ST})

ii. Niveau haplotypique

Le genre *Rhodostemonodaphne* montre 4 haplotypes dont 3 sont monospécifiques (Tableau 40). L'haplotype H2 est partagé entre *R. grandis*, *R. morii* et *R. rufovirgata*.

60	A	G	G	G
105	A	.	.	C
336	-	.	A	.
	H1	H2	H3	H4
<i>R. grandis</i>	4	3		
<i>R. kunthiana</i>			1	1
<i>R. morii</i>		4		
<i>R. rufovirgata</i>		5		

Tableau 40 : Répartition des haplotypes au sein du genre *Rhodostemonodaphne*

R. grandis présente deux haplotypes : H1 composé uniquement d'individus de la Piste de Saint-Elie et H2 composé d'individus provenant aussi de la Piste de Saint-Elie mais aussi de sites sur l'Acarouany et du Bafog. *R. kunthiana* semble présenter un haplotype par lieu de collecte. La région *trnH-psbA* semble assez stable chez les *Rhodostemonodaphne* et dans le cas de deux espèces seulement permet une identification à l'espèce.

2.2.f. *Mezilaurus*

Au sein de ce genre monospécifique, 4 individus de même provenance sont étudiés. L'haplotype est unique pour les individus appartenant cette espèce et donc, à ce genre. L'haplotype indiqué ci-dessous (Tableau 41) est celui du genre comparé aux autres genres.

13 17 28 32 33 34 35 39 51 60 84 86 105 121 130 131 147 178 194 200 213 216 221 222
T T C T T G T A A A T A A C C T G A A T A G T T

Tableau 41 : Haplotype de *Mezilaurus* sp. 1

2.2.g. *Sextonia*

Au sein de ce genre monospécifique, 7 individus provenant de 3 sites différents sont étudiés. L'haplotype est unique pour les individus appartenant cette espèce. L'haplotype indiqué ci-dessous (Tableau 42) est celui issu de la comparaison intergenres.

13 17 28 32 33 34 35 39 51 60 84 86 105 121 130 131 147 178 194 200 213 216 221 222
T T C T C G T A A A T A A C C T G A A T A G T T

Tableau 42 : Haplotype de *S. rubra*

3. Conclusion

De façon générale, il apparaît que l'analyse haplotypique (séquence entière), représente une méthode plus efficace dans la tentative d'identification au niveau de l'espèce ou du genre.

3.1. Identification au genre

Au niveau du genre, seuls deux genres peuvent être identifiés avec 100% des individus appartenant à un seul haplotype *Mezilaurus* et *Sextonia*. Dans le Tableau 43, figure la diversité haplotypique par genre. Au total, 40% des individus peuvent être directement identifiés au genre selon cette méthode.

Genres	Haplotypes
<i>Aniba</i>	H1 (40%) , H2, H3, H4 (4%)
<i>Endlicheria</i>	H5, H6 (17%) , H7
<i>Licaria</i>	H2, H3, H8, H9 (4%)
<i>Mezilaurus</i>	H16 (100%)
<i>Ocotea</i>	H7, H8, H10 (2%) , H11 (29%) , H12 (9%) , H13 (2%)
<i>Rhodostemonodaphne</i>	H5, H14 (22%) , H15 (6%)
<i>Sextonia</i>	H17 (100%)

Tableau 43 : Diversité haplotypique au sein des genres

Les haplotypes spécifiques au genre sont indiqués en gras, suivis du pourcentage d'individus du genre présentant cet haplotype

Il est possible d'identifier 44% des individus d'*Aniba* au genre, 42% des individus d'*Ocotea*, 28% des individus de *Rhodostemonodaphne*. Les résultats à l'échelle du genre sont donc plutôt mitigés d'un premier abord. Cependant, en observant de plus près les haplotypes communs à plusieurs genres, on s'aperçoit que ceux-ci ne sont communs qu'à 2 genres tout au plus et que chaque haplotype est dominé par un genre majoritaire (plus de 75% des individus de l'haplotype appartiennent à ce genre). Il est donc possible de faire une identification assez fine au genre avec la méthode de barcoding utilisant *trnH-psbA*.

3.2. Identification à l'espèce

Les séquences *trnH-psbA* peuvent servir à l'identification de certaines espèces. Dans le Tableau 44 figure la diversité haplotypique au sein des genres, par espèce. Ne figurent pas les genres qui présentent une seule espèce. En gras, les haplotypes uniques et la proportion d'individus de l'espèce présentant cet haplotype.

Espèces	Haplotypes
<i>A. citrifolia</i>	H _A 1
<i>A. hostmanniana</i>	H _A 2, H_A3 (50%)
<i>A. panurensis</i>	H _A 1
<i>A. parviflora</i>	H _A 1, H_A4 (50%)
<i>A. terminalis</i>	H _A 2, H_A5 (20%) , H_A6 (20%) , H_A7 (20%)
<i>A. williamsii</i>	H_A8 (100%)
<i>L. cannella</i>	H_L1 (37%) , H_L2 (13%) , H _L 3
<i>L. chrysophylla</i>	H _L 3, H_L4 (20%)
<i>L. guianensis</i>	H _L 5
<i>L. martiniana</i>	H _L 5
<i>L. sp3</i>	H _L 3
<i>O. argyrophylla</i>	H _O 1
<i>O. ceanothifolia</i>	H _O 1
<i>O. cernua</i>	H _O 2, H_O3 (75%)
<i>O. cinerea</i>	H_O4 (100%)
<i>O. indirectinervia</i>	H _O 2
<i>O. nigra</i>	H_O5 (100%)
<i>O. percurrens</i>	H _O 1, H _O 4
<i>O. sp12</i>	H _O 1
<i>O. splendens</i>	H_O6 (100%)
<i>O. tomentella</i>	H _O 1, H _O 4, H_O7 (17%)
<i>R. grandis</i>	H_R1 (43%) , H _R 2
<i>R. kunthiana</i>	H_R3 (50%) , H_R4 (50%)
<i>R. morii</i>	H _R 2
<i>R. rufovirgata</i>	H _R 2

Tableau 44 : Diversité haplotypique au sein des genres par espèce

Les haplotypes spécifiques à l'espèce sont indiqués en gras, suivis du pourcentage d'individus de l'espèce présentant cet haplotype

Treize espèces, en plus de *S. rubra*, *Mezilaurus* sp. 1 et *E. melinonni* peuvent être identifiées et possèdent des signatures uniques. Le barcoding à l'échelle de l'espèce fonctionne donc dans la moitié des espèces étudiées. Les espèces dont aucun individu ne montre un haplotype unique ne peuvent pas être identifiées par cette séquence.

Ce propos est toutefois à nuancer car il arrive que seules deux espèces partagent un même haplotype, auquel cas, cette méthode apporte malgré tout une aide à l'identification. Par exemple, les espèces *Licaria guianensis* et *L. martiniana* ont le même haplotype.

Pour approfondir l'apport du barcoding à l'identification des Lauracées, il serait intéressant d'utiliser soit des marqueurs de l'ADN nucléaire, soit une combinaison des marqueurs *matK* et *rbcL*, comme indiqué en Novembre 2009 par le CBOL (Consortium for Barcode Of Life) en plus de la région *trnH-psbA*. Mais sachant que ces marqueurs sont des gènes appartenant à la région codante de l'ADNcp, contrairement à *trnH-psbA*, ils sont moins polymorphes. Une étude très récente suggère d'ajouter des séquences d'ADN nucléaire provenant d'*ITS* et *ITS2* pour améliorer les performances du barcoding dans la différenciation entre espèces (China Plant BOL Group et al. 2011).

PARTIE IV. VALORISATION

I. Vers la création d'un outil d'identification multicritères

Dans les chapitres précédents (I, II et III), j'ai étudié ce que chaque discipline pouvait apporter à l'identification des Lauracées que j'ai étudiées. Il s'agit ici de mettre en place un outil d'identification basé sur ces données, afin d'arriver de façon non destructive à déterminer le taxon d'un arbre de la famille des Lauracées. J'ai choisi de travailler sur un outil de type Xper², qui propose un logiciel « cadre » d'aide à l'identification.

1. Xper², base de connaissance

Xper² est un système de gestion de stockage, édition et analyse de données descriptives. Il permet de créer des clés interactives afin d'identifier des échantillons. Il a été créé par une équipe du Centre de Recherche sur la Paléobiodiversité et les Paléoenvironnements (Ung et al. 2010). Le système est intuitif, la saisie des données assez simple. Il est le plus souvent utilisé par des taxonomistes et est disponible sous environnement Mac®, Windows® ou Linux dans de nombreuses langues. La véritable difficulté réside dans la formalisation des données à entrer dans la base.

Le système Xper2 présente quatre modes de fonctionnement :

- Edition des descripteurs : création et édition des descriptions standardisées
- Edition des taxons : caractéristiques et description du taxon
- Outils de gestion de la base : utilisation d'opérateurs logiques, de seuils pour les descripteurs numériques, édition de matrice « taxons X descripteurs »
- Mode identification : l'utilisateur entre ses données et une clé dynamique d'identification est créée

La base peut ensuite être plus ou moins finalisée en rentrant des illustrations ou des notes sur les taxons. Voyons alors comment la base de données LAUR_ID a été créée.

1.1. Edition des descripteurs

La Figure 72 ci-dessous montre le mode « Edition des descripteurs ». A gauche figurent les descripteurs, à droite, les états du descripteur sélectionné. Ce sont ces états que l'utilisateur va renseigner. Pour chaque item, descripteur ou état, il est possible d'éditer une description ou une illustration. Par exemple, pour l'état HR1, on saisit l'haplotype (séquence de SNPs avec leurs positions). Il se peut que certains descripteurs ou états soient incompatibles entre eux, il est possible de l'indiquer.

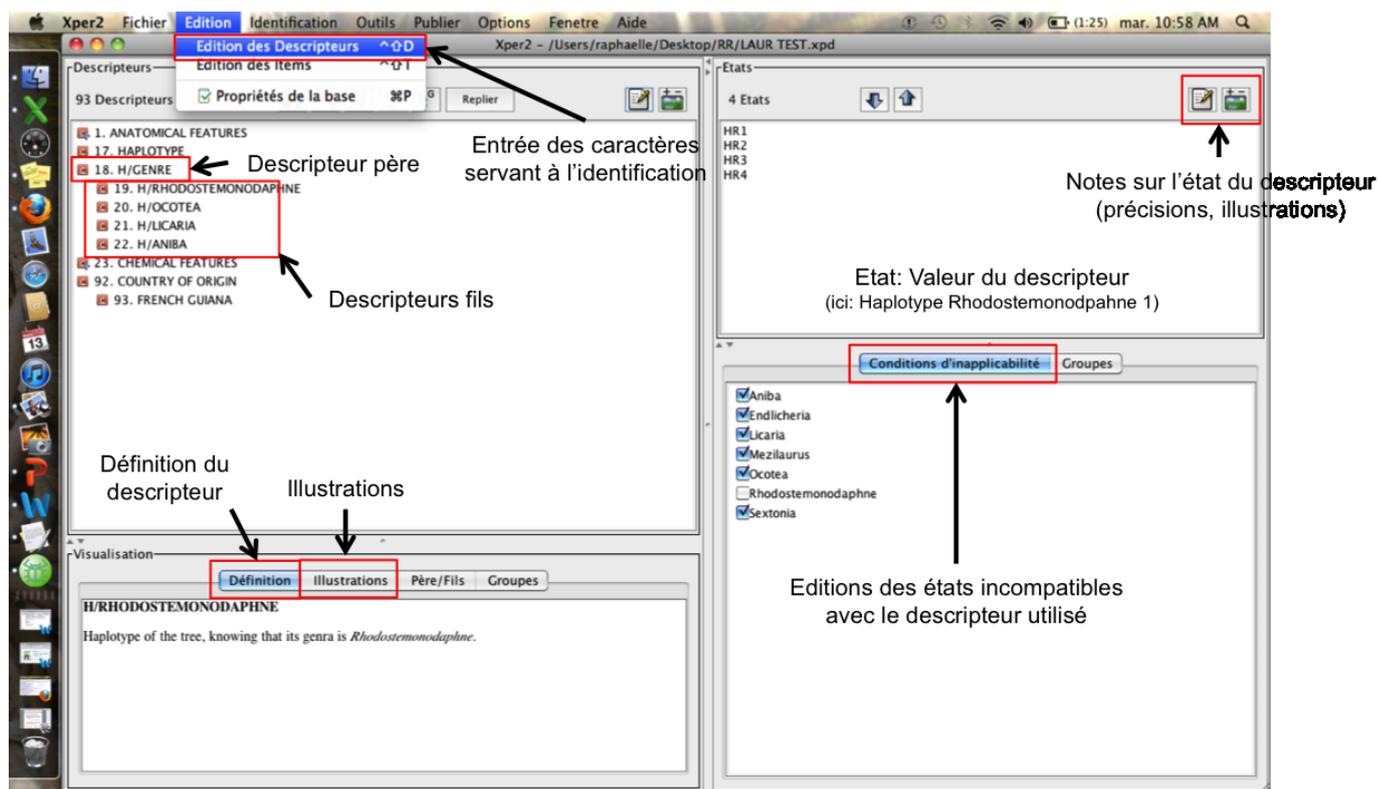


Figure 72: Capture d'écran sur la base Xper² LAUR ID mode "Edition des descripteurs"

Les descripteurs peuvent être de deux natures : catégorique ou numérique. Dans le premier cas, la valeur du descripteur peut être une couleur, un état physique ou autre. Dans le deuxième cas, il faudra saisir les valeurs minimales, maximales et moyennes du paramètre et le nombre d'échantillons prélevés.

Les descripteurs choisis sont les trois disciplines étudiées :

- *Caractéristiques anatomiques* : Il s'agit de la liste des critères déterminés en PARTIE I pour l'identification au genre. Ces critères sont de nature mixte (catégorie, numérique).
- *Caractéristiques haplotypiques* : Ici, nous avons différencié le descripteur HAPLOTYPE, qui correspond donc à l'haplotype déterminé en alignant toutes les séquences de Lauracées et HAPLOTYPE/ GENRE qui a été déterminé en connaissant le genre au préalable. Ce dernier descripteur possède ce qui est appelé des descripteurs fils qui

sont par exemple, HAPLOTYPE/ANIBA (haplotype sachant que l'individu appartient au genre *Aniba*), HAPLOTYPE/LICARIA etc.

1.2. Edition des taxa

Une fois les descripteurs entrés dans la base, on passe au mode d'édition des item (espèces - taxons) dans lequel on renseigne chaque caractéristique (Figure 73). Les fenêtres de la partie gauche concernent les taxons, celles du milieu, les descripteurs et celles de droite, les états des descripteurs. Si les caractères (descripteurs) n'ont pas été mesurés, alors il est possible de les déclarer comme inconnus. Lorsque des descripteurs numériques sont utilisés, le logiciel demande le nombre d'échantillons total (n), l'écart-type et la moyenne. Dans la base LAUR_ID, une cinquantaine d'espèce sont décrites.

Il est également possible d'éditer des définitions pour un taxon par exemple, écrire son histoire phylogénétique ou encore ses usages traditionnels ou industriels. De même, il est possible de saisir des remarques sur la valeur d'un descripteur au sein d'une espèce.

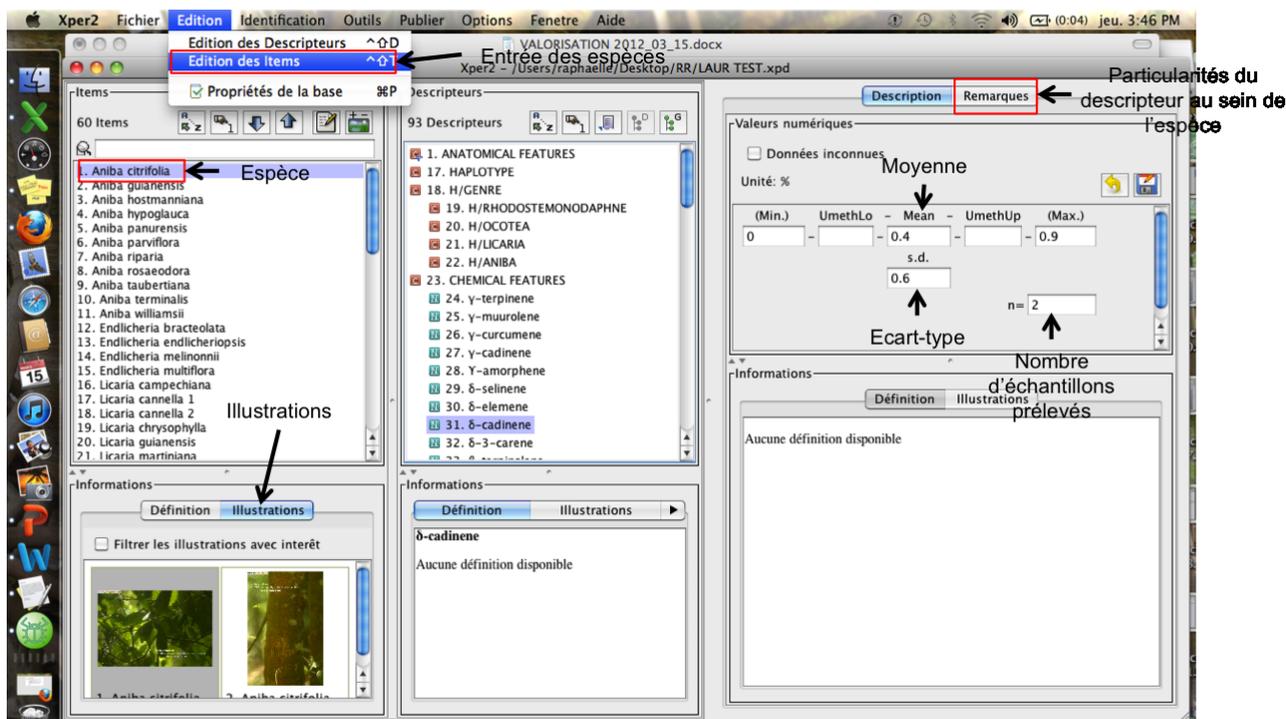


Figure 73 : Capture d'écran sur la base Xper² LAUR ID mode "Edition des items"

1.3. Exploitation de la base

Le logiciel en mode « Publier » permet, entre autres, de publier la liste des taxons, et des descripteurs (hiérarchisée ou non). Il est possible d'éditer une matrice descriptive des taxons résumant les données. Le logiciel possède aussi une fonction permettant de publier la liste des descripteurs et de leurs pouvoirs discriminants calculés selon diverses méthodes (Tri de Sokal et Michner, Jaccard ou méthode propre au logiciel appelée XPER). Ces méthodes permettent d'évaluer la capacité d'un descripteur à distinguer les taxons. Dans le cas de notre base, la méthode la plus appropriée est le tri des descripteurs selon Jaccard (Jaccard 1901) qui ne prend pas en compte les données manquantes ou les descripteurs non renseignés. Selon le logiciel Xper2, les caractères les plus discriminants par ordre décroissant du pouvoir discriminant pour identifier les individus appartenant à la famille des Lauracées sont : l'haplotype, le groupe « caractéristiques chimiques », le groupe « Haplotype sachant le genre », la disposition du parenchyme, la couleur du bois, les cristaux dans le bois.

2. Identification des Lauracées

Le mode « Identification » de la base Xper2 permet de saisir des données et de comparer ces données à la base afin d'identifier l'échantillon soumis. La fenêtre identification est composée de trois parties (Figure 74). La partie de gauche recense les descripteurs et leurs états. Il est possible de sélectionner un groupe de descripteurs de façon préférentielle. Dans le cas des Lauracées, il sera préconisé à l'utilisateur de commencer par le groupe « anatomical features » ou le groupe « haplotypes *trnH-psbA* », pour identifier le genre en effet, le pouvoir discriminant des descripteurs est différent au niveau du genre et au niveau de l'espèce. De plus, dans les chapitres précédents, nous avons vu qu'il était plus facile de déterminer le genre par l'anatomie que par les deux autres méthodes. Par la suite, il pourra sélectionner un genre dans « chemical features » afin d'arriver à l'espèce. La partie centrale est celle de la définition et des illustrations des états ou des descripteurs et sur la partie droite, figure le tri des taxons qui s'effectue de façon dynamique. Sur la partie haute figurent les taxons retenus tandis que les taxons éliminés figurent dans la partie basse.

VALORISATION

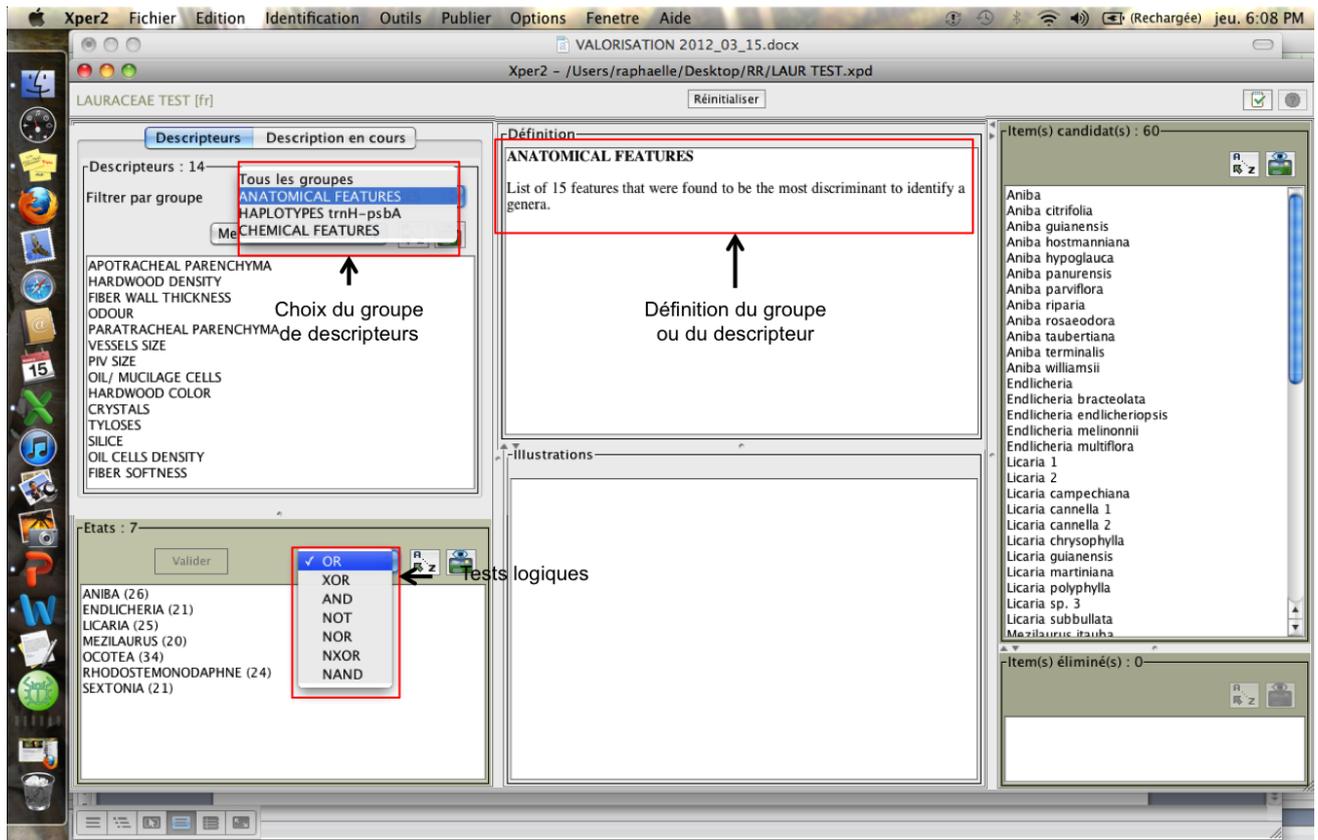


Figure 74 : Capture d'écran sur la base Xper² LAUR ID mode "Identification" – étape 1

Au fur et à mesure de la sélection des critères et de la saisie des valeurs des caractères, des taxons sont éliminés. Il est possible de suivre la description en cours pour contrôler les paramètres déjà saisis en machine (Figure 75).

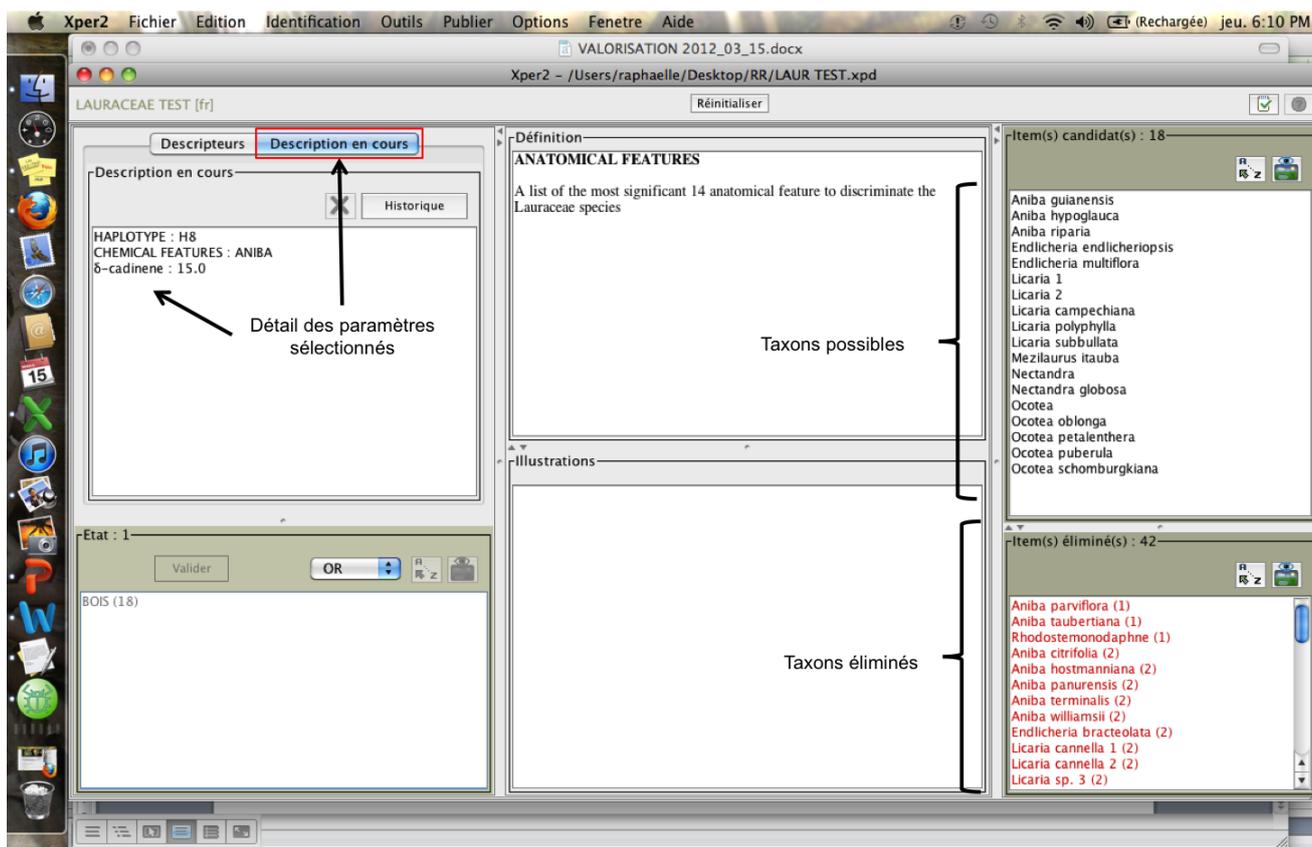


Figure 75 : Capture d'écran sur la base Xper² LAUR_ID mode "Identification" – étape 2

L'utilisateur a pour consigne de commencer l'identification avec les haplotypes ou les caractéristiques anatomiques connues, puis une fois le genre déterminé, il peut ajouter l'information des haplotypes sachant le genre ou les caractéristiques chimiques pour l'identification de l'espèce. Afin de tester la validité de cet outil, nous avons sélectionné une dizaine d'individus d'identification connue appartenant aux échantillons ayant servi à construire la base de donnée et vérifié que l'identification par la base de connaissance était bien la même. Les identifications ont bien été validées.

3. Perspectives

Cette base de données n'en est qu'à ses prémices. Afin de confirmer la puissance de la démarche multicritères, et de confirmer ou d'infirmer certaines identifications, il faudrait échantillonner beaucoup plus d'arbres. En outre, il faudrait compléter les signatures qui manquent dans certaines espèces au sein desquelles seule l'anatomie ou la chimie ont été étudiées. De plus, il serait aussi intéressant de rajouter des critères botaniques et forestiers tels que l'architecture des arbres, la phyllotaxie, la pédologie afin d'ouvrir cette base à une plus grande gamme d'utilisateurs.

En l'état, le système Xper², LAUR_ID n'est pas évolutif puisqu'il existe un premier tri dû à une sélection « arbitraire » des critères que nous avons jugés comme étant pertinents. En effet, le système de descripteurs est assujéti au tri manuel, humain. Pour pouvoir s'affranchir de cette

contrainte, il faudrait une base dans laquelle toutes les caractéristiques soient renseignées pour chaque espèce et qui puisse générer des signatures de façon dynamique. Par exemple, on considère qu'une molécule est caractéristique lorsqu'elle est commune à tous les individus de l'espèce. Cela suppose aussi une programmation du logiciel. Dans ce logiciel, l'aspect prédictif de la composition chimique des huiles essentielles qui seraient extraites du bois pourrait aussi être pris en compte, ainsi que les quantités potentiellement extractibles.

II. Huiles essentielles des Lauracées de Guyane

Dans le cadre de la valorisation des bois des Lauracées, des huiles essentielles ont été extraites par hydro distillation selon le protocole indiqué p. 143, III.2. Au total, 60 essais ont été effectués, dont 52 ont permis d'obtenir de l'huile essentielle.

1. Rendements

Pour des raisons pratiques (broyeurs en panne et capacité des broyeurs eut égard à la quantité de bois à passer), les bois et les écorces utilisés pour l'extraction n'ont pas été broyés le plus finement possible, les valeurs de rendement ne rendent donc pas totalement compte de la quantité maximale qu'il serait possible d'extraire. Néanmoins, les ordres de grandeur de rendements entre espèces sont respectés.

1.1. Ecorces

Au total, 28 essais ont été réalisés, 4 n'ont donné aucune huile. Le rendement moyen est de 0,15% sur la masse sèche. Seules 3 espèces sont situées au-dessus du seuil d'intérêt déterminé par KLR (0,3%). Il s'agit de *L. guianensis*, *O. percurrans* et de RR-L-097 (Figure 76). Toutefois, il faudrait réduire en sciures plus fines les échantillons présentant un rendement en huile essentielle supérieur à 0,1% afin d'avoir une idée plus précise du rendement maximal.

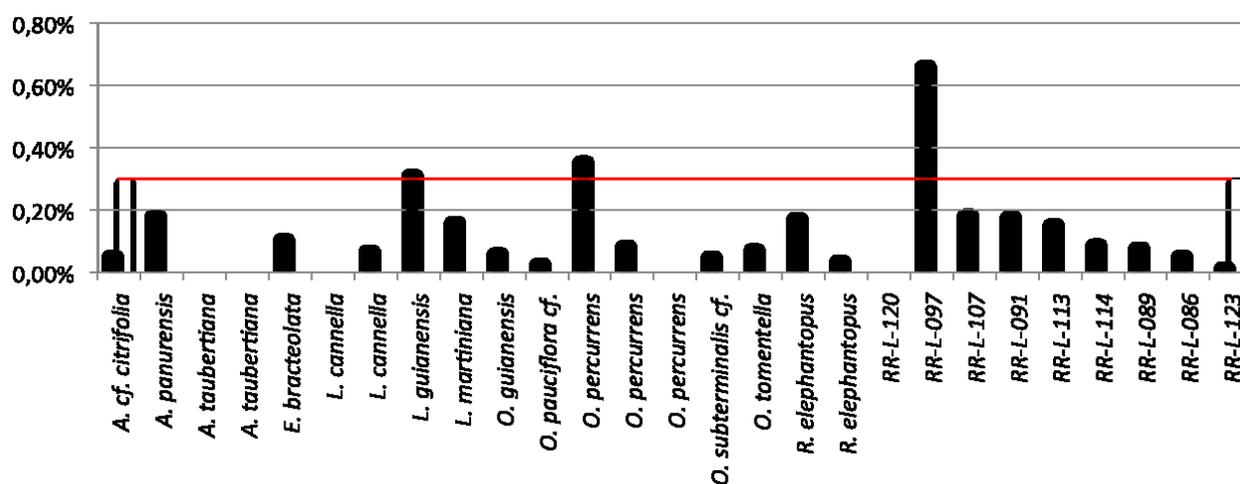


Figure 76: Rendements en huile essentielle des écorces de Lauracées

Les individus RR-L-*** sont des individus non identifiés

1.2. Bois

Au total, 32 essais ont été faits, dont 4 n'ont pas été concluants. Le rendement moyen est de 0,20%. Quatre espèces sont intéressantes en terme de rendements (Figure 77). Il serait judicieux d'extraire à nouveau toutes les espèces dont le rendement est supérieur à 0,1% en réduisant les sciures en poudre.

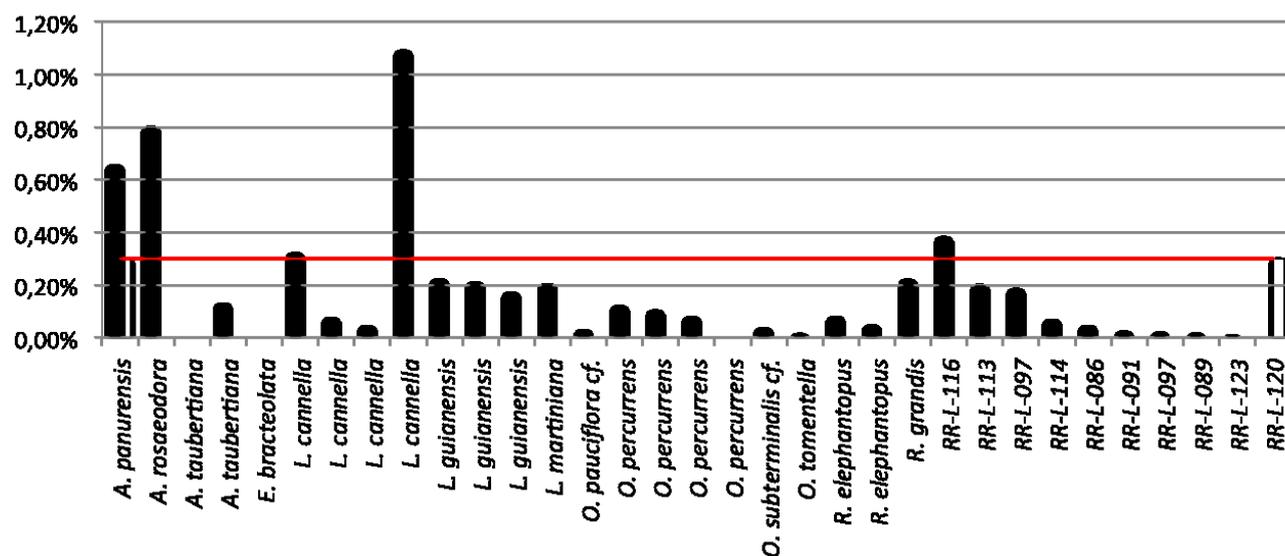


Figure 77 : Rendements en huile essentielle des bois de Lauracées

Les individus RR-L-*** sont des individus non identifiés

2. Evaluations olfactives

Les huiles essentielles ont été soumises à un expert afin d'évaluer leur intérêt olfactif. Les huiles ont été classées en six différentes notes de tête : boisée, herbacée, agrumes, orientale, balsamique et fruitée. Le détail de chaque évaluation olfactive figure en Annexe 8. Les résultats sont résumés sur la Figure 78. De façon générale, les huiles essentielles extraites du bois présentent des notes boisées et celles extraites des écorces présentent des notes herbacées. Les huiles présentant des notes d'agrumes et orientale expriment aussi une note savonneuse. L'huile essentielle jugée la plus intéressante par l'expert est extraite du bois d'une espèce inconnue (L-116), elle présente une note très fruitée. Tout le matériel disponible au laboratoire ayant été utilisé pour faire les huiles, nous ne disposons que de l'herbier qui est en cours d'identification.

BOISEE		
TENACE	TERREUSE	DOUCE
<i>Ocotea pauciflora</i> cf. (B) L-086(E) L-088(E) L-096(B)	<i>Aniba taubertiana</i> (B&E) <i>Ocotea percurrans</i> (B) <i>Ocotea tomentella</i> (B) <i>Endlicheria bracteolata</i> (B) L-095(B&E) L-113	<i>Ocotea pauciflora</i> cf.(E) <i>Rhodostemonodaphne grandis</i> (B) L-086(B)
	ORIENTALE	FLORALE
	L-122 (E&B)	L-120(B)

HERBACEE		
LEGUME/BAUME CELESTE	DISCRETE	TERPENE
<i>Ocotea percurrans</i> (E) L-091 L-114(B&E)	<i>Ocotea percurrans</i> (E) <i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i> (E) <i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i> (E)	<i>Licaria martiniana</i> (B&E) L-085(E) L-120 (E) L-085(B)

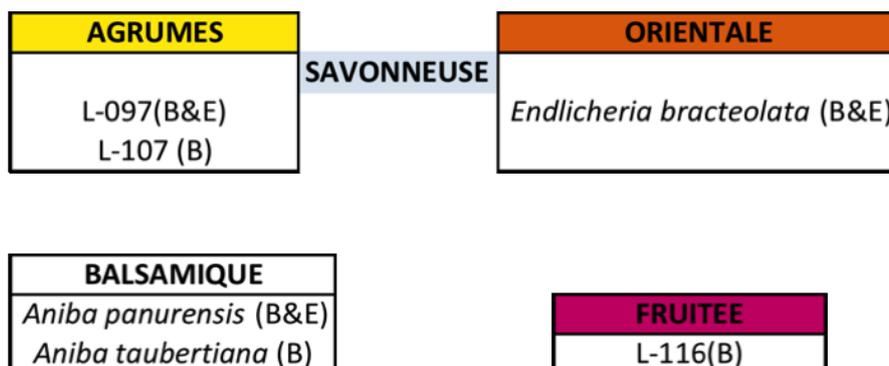


Figure 78: Classement des huiles essentielles par note dominante d'après l'analyse de l'expert

« (E) » fait référence à l'huile essentielle de l'écorce et « (B) » fait référence à l'huile essentielle du bois

3. Compositions et évaluations olfactives

Les évaluations olfactives ont ensuite été étudiées en fonction des compositions chimiques. Sur la Figure 79 les différentes notes ont été associées aux molécules communes aux individus constituant le groupe.

Dans la note boisée/tenace, l' α -muurolool est mis entre parenthèse car il n'est trouvé que chez deux individus du groupe et semble ajouter une note herbacée en plus de la note tenace boisée. Il n'y a pas de différence sensible entre les compositions de la note boisée/tenace et de la note boisée/douce. Les notes poussiéreuses, florales sont dues à la présence de 4-terpinéol.

VALORISATION

L'élémicine sent la muscade et donne une note fraîche alors que le benzoate de benzyle tend à donner une note orientale.

La note herbacée est due à la présence d'1-épi-cubénoïl, de façon générale.

La note d'agrumes résulte de la présence de limonène et d' α -pinène.

La note balsamique est essentiellement due à la présence de benzaldéhyde.

BOISEE					
TENACE		TERREUSE		DOUCE	
(α -muuroïol)	14%	δ -cadinène	14%	α -cadinol	12%
α -cadinol	8%	calaménène	8%	δ -cadinène	10%
δ -cadinène	6%	1-épi-cubénoïl	5%	calaménène	4%
calaménène	4%	spathulénol	4%		
ORIENTALE			FLORALE		
α -cadinol	11%	dill apiol	61%		
épi- α -muuroïol	9%	élémicin	11%		
terpinène-4-ol	8%	terpinène-4-ol	8%		
δ -cadinène	4%				
benzoate de benzyle	4%				
1-épi-cubénoïl	2%				

HERBACEE					
LEGUME/BAUME CELESTE		DISCRETE		TERPENE	
δ -cadinène	11%	δ -cadinène	5%	α -cadinol	12%
α -cubébène	9%	calaménène	3%	1-épi-cubénoïl	4%
calaménène	6%			calaménène	4%
1-épi-cubénoïl	5%				
spathulénoïl	5%				

AGRUMES		SAVONNEUSE		ORIENTALE	
benzoate de benzyle	25%			δ -cadinène	11%
limonène	23%				
δ -cadinène	3%				
α -pinène	3%				
(E,E)- α -farnésène	3%				
1-épi-cubénoïl	2%				
calaménène	2%				

BALSAMIQUE	
benzoate de benzyle	61%
δ -cadinène	3%
benzaldéhyde	3%
calaménène	2%
1-épi-cubénoïl	2%
α -copaène	1%

Figure 79 : Composition chimique des différentes notes olfactives déterminées par l'expert

Pour ce qui est de la note fruitée, aucune molécule particulière ne semble avoir cette odeur fruitée décrite. Cependant, le mélange de molécules assez original dans cette huile lui confère cette odeur. Elle est composée d'(E,E)- α -farnésène (odeur herbacée de lavande), d' α -sélénène (odeur terpénique), de calaménène, d' α -copaène (bois épicé), et de δ -cadinène.

III. Outil de certification, prédictions

L'intérêt d'un outil de certification reste l'identification rapide. Il serait intéressant comme évoqué ci-dessus et dans une perspective industrielle, que cet outil puisse prédire les compositions et rendements en huile essentielle de l'espèce identifiée avant l'abattage de l'arbre. Pour lancer quelques pistes, j'ai effectué plusieurs études sur les similitudes entre les profils SPME des écorces et les compositions des huiles essentielles extraites de l'écorce puis du bois ainsi que sur la corrélation entre la dimension et la fréquence des cellules à huile et le rendement en huile essentielle. Cette étude a été menée sur des Lauracées récoltées sans connaître au préalable leur identification. Par conséquent au vu des difficultés d'identification que l'on connaît, de nombreux arbres n'ont pas pu être identifiés à l'espèce, ceci, même lors de l'examen des planches d'herbier par le spécialiste, Henk Van der Werff. Ces observations constituent, plutôt qu'une expertise vraiment très poussée, des pistes brutes à explorer pour aller vers la conception d'un outil de prédiction de la composition et le rendement en huiles essentielles chez les Lauracées.

1. Prédiction de la composition des huiles essentielles

Le but de cette partie est de déterminer dans quelle mesure la signature SPME des écorces qui nous a permis de caractériser les espèces peut nous permettre de prédire les composés présents dans l'huile essentielle (de façon qualitative et quantitative). Pour ce faire, les 10 à 15 composés majoritaires des signatures SPME et des compositions des huiles extraites du bois et des écorces ont été comparées. En annexe, figure les tableaux comportant les valeurs des aires relatives des composés majoritaires.

1.1. Huile essentielle extraite du bois et huile essentielle extraite de l'écorce

Les huiles du bois et de l'écorce présentent globalement la même composition (Tableau 45). Cependant, les composés majoritaires ne seront pas forcément identiques.

Espèces	Composés similaires
<i>Ocotea percurrrens</i> (L-101)	9
RR-L-097	9
<i>Aniba panurensis</i>	8
RR-L-113	8
<i>Licaria martiniana</i>	7
<i>Ocotea pauciflora</i> cf.	7
RR-L-086	7
RR-L-122	7
<i>Ocotea subterminalis</i> cf.	3
<i>Endlicheria bracteolata</i>	0
<i>Aniba taubertiana</i>	-
<i>Aniba taubertiana</i>	-
<i>Ocotea percurrrens</i>	-
<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	-
RR-L-112	-
RR-L-117	-
RR-L-123	-

Tableau 45 : Nombre de molécules majoritaires similaires entre les compositions des huiles essentielles extraites du bois et de l'écorce

Ocotea percurrrens présente 9 molécules communes aux deux huiles. Ces composés présentent le même ordre de grandeur d'aire à un composé près, ils ont le même ordre d'importance. La présence de calacorène et du valencène est à noter car ces composés ne se retrouvent pas dans toutes les huiles. L'arbre L-097 présente 9 composés communs. Dans le cas de l'arbre L-097, le benzoate de benzyle est le composé majoritaire dans l'huile du bois (42%) mais pas dans celui de l'écorce qui présente le limonène comme composé principal (34%). Quatre autres molécules communes aux deux huiles montrent des ratios égaux dans les deux huiles.

Aniba panurensis présente 8 molécules communes aux deux huiles, de même que L-113. Le composé majoritaire est différent dans l'huile extraite du bois et dans celle extraite de l'écorce (bois : δ -cadinène à 17% et calaménène à 11% ; écorce : spathulénol et viridiflorol à 7%). Cependant, les compositions sont similaires pour les autres molécules communes.

L'espèce L-122 présente 7 composés communs aux deux huiles. Tous ces composés sont présents dans les mêmes proportions dans les deux huiles. Les composés notables sont l' α -cadinol (11%), l'épi- α -muurolol (9%) et le 4-terpinéol (7 à 9%). De même, chez *Licaria martiniana*, 7 composés sont similaires avec des molécules telles que l' α -cadinol (16 à 27%), l'épi-

α -muurolol (11% à 18%) et l' α -muurolol (4,5%) qui présentent des aires relatives importantes. Le dill apiole (12%) et le limonène (11%), sont présents en quantité importante dans l'huile extraite des écorces. *Ocotea pauciflora* cf. montre aussi 7 composés communs entre les huiles extraites du bois et de l'écorce. Les composés majoritaires ne sont pas identiques (bois : δ -sélinène à 19% ; écorce : β -sélinène).

Ocotea subterminalis présente 3 composés identiques dans les huiles extraites du bois et de l'écorce. Parmi ces molécules figure l' α -muurolol qui est le composé majoritaire dans les deux huiles (15 à 25%). Enfin, les huiles extraites du bois et des écorces d'*Endlicheria bracteolata* ne présentent aucune molécule commune.

1.2. Profil SPME et huile essentielle extraite du bois

Essayons maintenant de comparer les composés majoritaires contenus dans les huiles essentielles extraites du bois et les signatures des composés volatils dégagés par les écorces. Ces observations ont pour but de savoir s'il est possible de présager à partir de l'analyse du bouquet ligneux/cortical, des composés présents dans l'huile essentielle. Sur le Tableau 46, figurent le nombre de composés similaires entre la composition du bouquet ligneux/cortical et celle de l'huile essentielle extraire du bois (composés majoritaires uniquement).

Espèces	Composés similaires
<i>Aniba panurensis</i>	9
<i>Licaria martiniana</i>	7
<i>Ocotea percurrans</i> (L-106)	6
RR-L-113	6
RR-L-112	5
RR-L-117	5
<i>Aniba taubertiana</i> (L-121)	4
<i>Ocotea pauciflora</i> cf.	4
<i>Ocotea percurrans</i> (L-106)	4
RR-L-097	4
<i>Endlicheria bracteolata</i>	3
<i>Ocotea subterminalis</i> cf.	3
<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	3
<i>Aniba taubertiana</i>	2
RR-L-123	2
RR-L-086	-
RR-L-122	-

Tableau 46 : Nombre de molécules majoritaires similaires entre les compositions des huiles essentielles extraites du bois et de l'écorce

L'espèce présentant la meilleure adéquation bouquet ligneux/cortical/huile essentielle du bois, est *Aniba panurensis*. Les deux signatures ne présentent pas le même composé majoritaire (bois : benzoate de benzyle à 74% ; écorce : alcool benzylique à 14%). Aucun composé n'est vraiment notable dans la composition des molécules communes aux deux signatures.

Licaria martiniana présente 7 molécules similaires aux deux compositions. Aucun de ces composés ne se démarque ni par sa rareté ni par son abondance. Les deux compositions ne présentent pas la même molécule majoritaire. L'huile essentielle extraite du bois est riche en α -cadinol (27%) et épi- α -muurolol (18%), tandis que le bouquet ligneux/cortical se caractérise par un fort taux de limonène (17%) et de p-cymène (14%).

Chez *Ocotea percurrrens*, 6 composés sont similaires tout comme chez RR-L-113. Dans le cas de l'espèce *O. percurrrens*, les deux molécules majoritaires ne sont pas les mêmes dans les deux analyses, cependant, des molécules remarquables et de proportions identiques telles que le calacorène (2,4%), le cubénol (3,8%), le 1-épi-cubénol (6,8%) et le calaménène (12,7%) sont aussi spécifiques. Ce n'est pas le cas pour l'individu L-113. En effet, les molécules majoritaires observées sur la SPME sont l' α -copaène (20%) et l' α -cubébène (21%) tandis qu'il s'agit du calaménène (11%) et du δ -cadinène (17%) dans l'huile extraite du bois. Les composés communs intéressants sont la valencène (3%), l' α -humulène (3%), tout comme le taux élevé (7 à 17%) de δ -cadinène.

L'individu L-112 présente une signature caractéristique intéressante, comprenant des molécules communes aux deux signatures originales telles que le 4-terpinéol (11%) et le dill apiole (6 à 30%). Le limonène, le p-cymène et le δ -cadinène sont les autres molécules communes. La composition du bouquet ligneux/cortical et celle de l'huile essentielle (composés majoritaires) sont presque identiques pour l'individu L-117. La molécule majoritaire est l' α -copaène (11 à 35%). Les deux compositions montrent la présence de β -élémente (2,5%).

Aniba taubertiana montre 4 composés communs d'abondances très différentes dans les deux analyses. De même *Ocotea pauciflora* cf. présente 4 composés communs aux deux analyses. Ceux-ci sont intéressants car ils sont rares dans nos analyses : le δ -sélinène est le composé majoritaire dans les deux analyses (18%), l' α -sélinène (8%). De plus, le δ -cadinène et le cypérène montrent les mêmes proportions relatives. Cette espèce est donc intéressante pour la prédiction de la composition de l'huile. De même que chez les espèces citées auparavant, *Ocotea percurrrens* présente 4 molécules de proportions différentes dans chacune des signatures, excepté pour l' α -humulène (2%). Les molécules communes chez L-097 sont intéressantes de par leur présence pour l'(E,E)- α -farnésène (3 à 18%) et de par leur intensité concernant le limonène (9 à 12%).

Les molécules communes aux deux analyses pour l'espèce *Endlicheria bracteolata* sont communément observées (α -copaène, α -cubébène et δ -cadinène). Elles ne présentent pas de taux remarquable. Il en est de même pour les espèces *Ocotea subterminalis* et *Rhodostemonodaphne grandis*.

Pour l'individu L-120, les proportions très importantes de limonène et de p-cymène du bouquet ligneux/cortical ne se retrouvent pas dans l'huile essentielle provenant du bois. Ces molécules se retrouvent tout de même parmi les molécules majoritaires contenues dans l'huile essentielle du bois.

Chez *Aniba taubertiana* et L-123, les molécules similaires aux deux analyses sont le δ -cadinène et le β -caryophyllène pour la première espèce, et le δ -cadinène et le calaménène pour l'autre. Ces molécules, très communes dans les diverses analyses étudiées sont présentes en proportions similaires dans les deux types de signatures.

1.3. Conclusion

En se basant uniquement sur les molécules d'aires les plus importantes, nous ne pouvons pas dire avec certitude que l'empreinte chimique de l'écorce peut permettre de connaître la composition en huile essentielle. Toutefois, les molécules suivantes, quand elles sont observées en SPME, se retrouvent forcément dans la composition de l'huile essentielle : (E,E)- α -farnésène, (E)-cadina-1,4-diène, calaménène, cypérène, dill apiole, limonène, NI1, p-cymène, 4-terpinéol, valencène, α -copaène, α -cubébène, α -humulène, α -muurolène, α -sélinène, β -caryophyllène, β -élémente, δ -cadinène, δ -sélinène.

Ces observations ne sont qu'une piste éventuelle de création d'un outil prédictif de la composition en huiles essentielles. Deux remarques sont à faire quant à la méthode de recherche de ces molécules : le programme de température SPME n'étant pas le même que le programme de température pour l'analyse des huiles essentielles, les molécules analysées lors de l'utilisation de la première méthode présentaient des indices de rétention allant de 900 à 1700, alors qu'à l'aide de la deuxième méthode, ils étaient compris entre 800 à 1800. Il y avait donc plus de molécules observées dans ce dernier cas. A titre d'exemple, le benzoate de benzyle a été observé dans de nombreuses huiles mais pas dans les SPME car cette molécule possède un indice de rétention selon Kovats de 1775. Il faudrait donc prolonger le programme SPME programmer un temps suffisant pour permettre aux molécules de sortir et observer la totalité du bouquet ligneux/cortical.

J'ai été aussi confrontée au problème du spectromètre de masse à trappe à ions qui avait été mal programmé et qui n'a permis d'acquérir qu'une partie des spectres de masse, cette erreur ayant été remarquée un peu tard, nous avons travaillé sur les spectres « mal acquis ». De plus, suite à une formation récente, je me suis rendue compte qu'il était possible que l'injecteur trop chaud ait fragilisé et transformé quelques molécules. Des réflexions sont en cours afin de décider si nous recommençons les analyses des mêmes huiles, cette fois avec les réglages adaptés. Cela permettrait d'étudier les compositions dans le détail et d'améliorer la qualité de l'analyse.

2. Prédiction du rendement

Afin de déterminer s'il existe une relation entre les différentes caractéristiques des cellules à huile et le rendement, la surface occupée par les cellules à huile en coupe transversale a été comparée au rendement en huile essentielle du bois. La surface couverte par les cellules à huile sur 1 mm² a été évaluée en multipliant la taille moyenne des cellules à huile par la densité moyenne au mm² en cellules à huile. Sur la Figure 80, pour une partie des arbres, les rendements

semblent liés aux caractéristiques des cellules à huile. Nous pouvons aussi dire que de grosses cellules à huile (diamètre le plus grand de 65 μm environ), relativement nombreuses (autour de 9/mm²), n'impliquent pas nécessairement un rendement élevé.

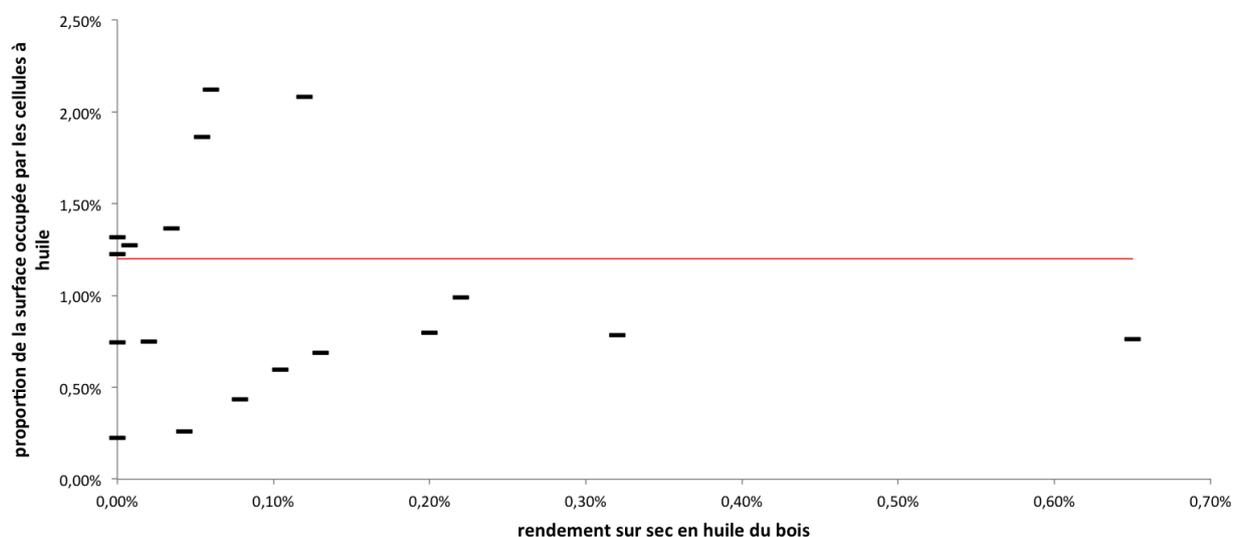


Figure 80: Proportion de la surface occupée par les cellules à huile en fonction du rendement en huile essentielle du bois

Cette comparaison ne semble pas montrer de relation évidente entre la surface occupée par les cellules à huile et le rendement en huile essentielle. Toutefois, le graphique semble être séparé en deux parties autour de 1,2% de surface occupée par les cellules à huile. Au sein de chaque « partie », la proportion de la surface occupée par les cellules à huile et le rendement sur sec en huile du bois montrent une corrélation positive. En examinant les individus composant ces deux groupes, aucune caractéristique anatomique pouvant réunir ces individus n'a été relevée. Le groupe situé dans la partie inférieure est composé des espèces *A. taubertiana*, *A. panurensis*, *L. cannella*, *L. martiniana*, *O. guianensis*, *O. pauciflora*, *O. percurrens*, *R. grandis* et les individus de détermination inconnue RR-L-088 et RR-L-091. Le deuxième est composé des espèces *A. taubertiana*, *E. bracteolata*, *L. cannella*, *O. subterminalis* et les individus RR-L-090, RR-L-120 et RR-L-123.

Toutefois, le volume total des cellules à huile n'a pas été pris en compte or, selon mes observations, la hauteur des cellules à huile peut varier du simple au double en fonction des espèces et parfois même au sein du même arbre. De plus, la véritable forme des cellules à huile est une goutte d'eau ou un tonneau et non pas un cylindre. De plus, selon des observations effectuées sur les *Aniba rosaeodora* au laboratoire de Sciences du bois de l'UMR EcoFoG (travaux en cours), toutes les cellules à huile ne contiennent pas de l'huile. En effet, le remplissage des cellules à huile dépend de leur stade ontogénique mais aussi des conditions environnementales agissant sur l'arbre (Sangwan et al. 2001). C'est pourquoi, il faut nuancer les conclusions émises d'après les observations précédentes. Il devrait donc certainement exister une relation entre cellules à huile et rendement en huile essentielle mais les deux premiers paramètres doivent être

étudiés soigneusement avant d'essayer d'établir cette relation. Une autre raison à invoquer est sûrement le broyage insuffisant des copeaux, ne permettant pas d'extraire toute l'huile qui est contenue dans les cellules.

IV. Conclusion

Cette partie se veut être un travail préliminaire de valorisation des Lauracées. Nous avons construit une base de données « brutes » sur Xper2 permettant d'identifier une cinquantaine d'espèces. Il faudrait continuer à la compléter car certaines espèces ne sont pas totalement décrites, par exemple il existe des espèces renseignées uniquement pour l'anatomie. Dans un futur proche, la base devrait être améliorée en y ajoutant des photos d'herbier et des descriptions de l'arbre sur pied et de ses données (point GPS, diamètre, apparence de l'écorce) récoltées sur le terrain.

Ces huiles essentielles sont intéressantes en termes de molécules et d'odeurs. Malgré les faibles rendements observés dus très certainement à la trop grande taille des copeaux, les résultats obtenus nous donnent bon espoir quant aux possibilités de bon rendement en huiles essentielles.

Quant à la partie outil de prédiction de la qualité et quantité d'huile essentielle, des pistes sont lancées, mais un grand travail de criblage reste à faire. Il faudrait, pour améliorer la prédiction du rendement, prendre en considération le volume des cellules à huile et leur remplissage. Au niveau qualitatif (molécules), il y a une bonne corrélation entre la composition du bouquet ligneux/cortical et les compositions des huiles essentielles extraites du bois chez quelques espèces. Cependant, les méthodes d'analyses n'étant pas les mêmes, cela a introduit un biais dans l'analyse qu'il conviendrait de corriger.

CONCLUSION - PERSPECTIVES

CONCLUSION – PERSPECTIVES

Afin de pouvoir répondre à une demande de production d'huiles essentielles de qualité constante et d'origine certifiée dans la famille des Lauracées, mon travail de thèse avait un objectif double. Premièrement, il fallait mettre en place un système d'identification fiable des Lauracées et deuxièmement, évaluer le potentiel en huiles essentielles des Lauracées tant en termes de rendement qu'en termes de composition de l'huile.

En raison des difficultés d'identification reconnues des espèces appartenant à la famille des Lauracées, nous avons décidé de mettre en place un outil d'identification innovant afin de « s'affranchir » de l'identification classique par la botanique. Ce système devait être basé sur trois types d'observations : l'analyse de l'anatomie du bois, le barcoding et l'analyse de la composition de l'odeur dégagée par l'écorce de l'arbre. La difficulté majeure a résidé dans le prélèvement d'arbres identifiés correctement. Il a fallu échantillonner des arbres de parcelles à usage scientifique sur lesquelles seulement deux types de prélèvement étaient possibles : un prélèvement destiné à analyser les composés volatils dégagés par l'écorce et un prélèvement destiné à l'analyse génétique. Le processus de prélèvement du bois pour les analyses anatomiques au moment où nous avons commencé les études endommageait l'arbre de façon sévère, c'est pourquoi, nous avons préféré prendre du matériel ligneux dans la Xylothèque du CIRAD. Les planchettes de référence appartiennent toutes à des individus dont l'herbier a été révisé par Henk Van der Werff, le botaniste spécialisé en Lauracées. Ainsi le jeu de données par individu n'est pas nécessairement complet. Néanmoins, la base comprend une cinquantaine d'espèces (sur 116 en Guyane) appartenant à 8 genres dont les descriptions sont parfois incomplètes. Sur la cinquantaine d'espèces étudiées, 36 espèces ont une description complète.

En anatomie, les données mesurées ont été complétées par des données bibliographiques. J'ai été confrontée à une difficulté d'homogénéisation des valeurs énoncées par la bibliographie qui n'étaient pas précises. En effet dans la bibliographie, les grandeurs (tailles des vaisseaux...) sont données par plages conventionnelles. Par exemple, la taille des vaisseaux est soit inférieure à 100 μm , comprise entre 100 et 200 μm ou supérieure à 200 μm , sans plus de précision. De même la taille de la paroi fibreuse n'est pas mesurée mais catégorisée. Dans le cas des Lauracées, cela ne suffit pas. Il a fallu séparer les classes existantes et créer de nouveaux critères plus adaptés. Une analyse par positionnement multidimensionnel non-métrique a permis de faire un tri des critères pertinents dans l'identification des Lauracées. Au total 58 espèces ont été décrites, dont 45 de Guyane française. Ces analyses ont permis d'obtenir une discrimination des genres statistiquement significative. Je suis partie d'une liste de 40 critères et l'analyse a permis de montrer qu'il suffit de 15 critères pour identifier les individus au genre. Deux critères très discriminants ont été ajoutés à la liste des caractères classiques : le coefficient de souplesse des fibres et la densité des cellules à huile. Le but second de ces études anatomiques en plus de l'étude des caractères clés d'identification était aussi d'essayer de prédire un ordre de grandeur du rendement en huile essentielle du bois. L'échantillonnage faible mériterait à être augmenté avec la nouvelle méthode de prélèvement par poinçonnage avec un poinçon rectangulaire afin de pouvoir établir plus précisément l'anatomie de chaque espèce et d'affiner la relation rendement – cellules à huile.

CONCLUSION – PERSPECTIVES

En génétique, la technique de barcoding de la région chloroplastique intergénique *trnH-psbA* a été utilisée sur les individus récoltés. Les séquences utilisées proviennent du projet innovant d'Atlas moléculaire de l'INRA de Pierroton et des séquences d'accès libre publiées sur la base du NCBI. Au total, 127 individus représentant 28 espèces et 7 genres ont été séquencés. Elles ont été observées sous deux approches différentes : une approche nucléotidique, qui consiste en l'observation de la séquence nucléotide par nucléotide et une approche haplotypique qui consiste en l'observation et la comparaison des séquences entières. Dans les deux cas, c'est le polymorphisme qui est observé. L'approche la plus discriminante pour nos espèces est l'analyse haplotypique. En comparant les séquences de tous les individus, 40% des individus peuvent être identifiés au genre car ils présentent des haplotypes uniques. Les genres *Mezilaurus* et *Sextonia* sont les genres et espèces qui s'identifient d'emblée par rapport aux autres genres. Pour les autres genres, les haplotypes sont souvent partagés. Deux ou trois haplotypes par genre sont observés. Une autre approche a été de considérer le genre connu et d'observer des haplotypes intragenes. Pour certaines espèces, ces haplotypes sont spécifiques au site d'échantillonnage. En moyenne, 40% des individus sont identifiables à l'espèce quand le genre est connu au préalable. L'amélioration de l'identification à l'espèce serait certainement possible en ciblant d'autres régions du génome. En particulier, l'utilisation de marqueurs nucléaires de type microsatellites qui ont un taux de mutation plus élevé permettraient peut-être de distinguer les espèces proches de Lauracées (celles qui ont divergé récemment ou dont l'isolement reproducteur n'est pas complet).

Les analyses chimiques des composés volatils des écorces ont été menées sur 121 individus, dont quelques échantillons proviennent du programme BRIDGE. Ils représentent 7 genres et 30 espèces dont 2 morphoespèces. Ces analyses ont amené la conclusion que l'identification au genre directement à partir de l'analyse SPME est impossible. En effet, aucun des genres étudiés ne présente de molécules caractéristiques. L'anatomie ou la génétique peuvent permettre d'arriver au genre alors, nous avons supposé le genre connu puis nous avons recherché des marqueurs permettant de caractériser les espèces. Dans un premier temps, la structuration chimique de chaque espèce a été étudiée. Cela a permis d'observer des profils chimiques très différents pour chaque espèce. Puis, en regroupant les composés communs à tous les individus d'une espèce, nous avons établi des cartes d'identité chimique. Sur un total de 206 molécules observées, un total de 43 permet d'identifier les espèces au sein d'un genre, mais pour un genre donné parfois quelques molécules suffisent à distinguer les différentes espèces. Dans la plupart des cas, les molécules majoritaires sont de bons marqueurs d'espèce. Les analyses de positionnement multidimensionnel non-métrique montrent une bonne séparation des espèces au sein du genre. Cependant, les espèces présentent rarement des différences statistiquement significatives. Cela est sûrement dû au faible échantillonnage (en moyenne 3 à 4 individus par espèce). Les espèces *Licaria cannella*, *Ocotea indirectinervia* et *Sextonia rubra* présentent deux chémotypes. Cinq chémotypes différents ont été observés au sein du genre *Ocotea*. Certaines espèces telles qu'*Ocotea tomentella* ont montré des chémotypes dépendants du site de prélèvement. L'interprétation de ces observations doit toutefois être nuancée et ne peut peut-être pas faire figure de généralité. En effet, pour évaluer la constance des compositions chimiques et rendre le

CONCLUSION – PERSPECTIVES

système d'identification plus robuste, il faudrait augmenter l'échantillonnage. Toutefois, aucune relation réelle n'a été observée entre le nombre d'échantillons et la stabilité de la signature chimique de l'espèce.

Ces trois domaines d'observation ont permis de constituer une base de type Xper² pour l'identification. Les critères sélectionnés au préalable par les observations ont été entrés dans la base LAUR_ID c'est à dire : les 14 critères anatomiques, les haplotypes sur séquences entières, les haplotypes sachant le genre et les 43 molécules caractéristiques des espèces. Au total, une cinquantaine d'espèces a été décrite mais les descriptions ne sont pas complètes pour toutes les espèces. Un essai d'identification en aveugle par la base a été effectué afin de la valider. Comme cela a été dit précédemment, il faudrait augmenter l'échantillonnage pour obtenir un système d'identification robuste et plus complet.

En ce qui concerne la partie extraction de l'huile essentielle, 68 essais ont été effectués dont 51 ont permis d'obtenir de l'huile essentielle. Trois espèces montrent un rendement en huile essentielle de l'écorce supérieur à 0,3% et 4 espèces montrent un rendement en huile essentielle du bois supérieur à 0,3%. Les rendements obtenus ne sont pas maximaux car ce sont des copeaux très fins qui ont été distillés et non pas de la sciure, pour des raisons de panne de broyeur. De plus, un travail d'identification reste à faire pour certains individus.

Les évaluations olfactives menées par un expert ont permis de séparer les huiles distillées en 5 notes de tête (boisée, herbacée, orientale, agrumes et fruitée), elles-mêmes parfois divisées en notes de cœur. Les compositions des huiles essentielles se regroupent effectivement selon ces notes (groupe à benzaldéhyde, groupe agrume à limonène ou α -pinène ou autres).

Les compositions des huiles essentielles extraites des écorces et des huiles extraites du bois ont été comparées afin d'en étudier les similitudes et différences. Puis ces dernières ont été comparées avec les signatures SPME des composés volatils dégagés par les écorces afin d'évaluer jusqu'à quel stade il était possible de prédire les composés présents dans l'huile essentielle extraite dans le bois. Sur 13 individus dont il a été possible d'extraire de l'huile de l'écorce et du bois, 8 montrent des compositions similaires des huiles extraites du bois et de l'écorce. Cependant, en observant uniquement une dizaine de composés majoritaires, il n'est pas possible de conclure sur la possibilité ou non de prédire la composition de l'huile essentielle du bois. Nous avons tout de même dressé une liste de molécules qui, dès lors qu'elles sont observées dans le bouquet ligneux/cortical sont aussi observées dans l'huile essentielle du bois.

La tentative d'établir un lien entre les caractéristiques des cellules à huile et le rendement s'est avérée infructueuse. En effet, le remplissage des cellules à huile est une donnée que nous ne maîtrisons pas. Il faudrait donc chercher à maîtriser ce paramètre, afin de pouvoir évaluer précisément le rendement attendu en huile essentielle.

A court terme, ce travail permet de proposer un moyen innovant d'identification au sein de la famille des Lauracées. L'idée serait de partager cette base afin que d'autres personnes

CONCLUSION – PERSPECTIVES

puissent, soit la compléter, soit s'en servir. Pour le moment, les termes employés pour les descripteurs ne sont pas encore accessibles aux non-initiés. Il est donc prévu d'ajouter des illustrations des états ou des critères afin que la base soit plus conviviale. Quelques programmes de recherche développent des plateformes d'aide à l'identification comme par exemple le projet Pl@ntnet¹ ou Pl@ntWood développé sur Xper2 qui permet d'identifier 110 espèces d'arbres à partir de critères anatomiques.

A plus long terme, il serait intéressant de consolider la méthode d'identification en augmentant l'échantillonnage. Par ailleurs, le but étant de construire un outil pour l'industriel, il faudrait pouvoir créer un logiciel dans lequel les informations pourraient être entrées en machine sans l'aide d'experts, une fois les prélèvements confiés aux laboratoires d'analyses. Il s'agirait de la fiche anatomique (remplie par l'expert), la séquence génétique (isolée par les généticiens) et le fichier chromatogramme (sans forcément identification des molécules). Ce logiciel permettrait de fournir une identification avec un indice de confiance, une liste de molécules qui pourraient être contenues dans l'huile ainsi qu'une évaluation du rendement en huile essentielle du bois. On pourrait même imaginer que ce logiciel, alimenté par une cellule de veille bibliographique, proposerait des voies de valorisation des molécules contenues dans les cellules à huile. De plus, on pourrait essayer d'étendre ces méthodes à d'autres familles de plantes valorisables pour leurs huiles essentielles.

¹ Pl@ntNet: Projet collaboratif visant à l'augmentation des connaissances des milieux naturels (<http://www.plantnet-project.org/papyrus.php>)

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Agius, B.R., M.C. Setzer, S.L. Stokes, T.M. Walker, W.A. Haber, et W.N. Setzer. 2007. « Composition and bioactivity of essential oils of Lauraceae from Monteverde, Costa Rica ». *International Journal of Essential Oil Therapeutics* 1 (4): 167–171.
- Alves, E.S., et V. Angyalossy-Alfonso. 2000. « Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels ». *LAWA Journal* 21 (1): 3–30.
- . 2002. « Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres ». *LAWA Journal* 23 (4): 391–418.
- Andrianoelisoa, H.S., C. Menut, P.C. de Chatelperron, J. Saracco, P. Ramanoelina, P. Danthu, et P. Danthu. 2006. « Intraspecific chemical variability and highlighting and chemotypes of leaf essential oils from *Ravensara aromatica* Sonnerat, a tree endemic to Madagascar ». *Flavour and Fragrance Journal* 21 (5): 833–838.
- Araújo, F. L.O, C. T.V Melo, N. F.M Rocha, B. A. Moura, C. P. Leite, J. F. Amaral, J. M. Barbosa-Filho, et al. 2009. « Antinociceptive effects of (O-methyl)-N-benzoyl tyramine (riparin D) from *Aniba riparia* (Nees) Mez (Lauraceae) in mice ». *Naunyn-Schmiedeberg's archives of pharmacology* 380 (4): 337–344.
- Ashfaq, M., M. Asif, P. Hebert, Z.I. Anjum, M. Kuzmina, et Y. Zafar. 2011. « DNA BARCODING IN SPECIES WITH COMPLEX GENOME ». Dans Melbourne, Australia.
- Athar, M., et S.M. Nasir. 2005. « Taxonomic perspective of plant species yielding vegetable oils used in cosmetics and skin care products ». *African Journal of Biotechnology* 4 (1): 36–44.
- Ausubel, J.H. 2009. « A botanical microscope ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (31): 12569–12570.
- Baldwin, B.G., M.J. Sanderson, J.M. Porter, M.F. Wojciechowski, C.S. Campbell, et M.J. Donoghue. 1995. « The ITS Region of Nuclear Ribosomal DNA: A Valuable Source of Evidence on Angiosperm Phylogeny ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82 (2): 247–277.
- Barbosa-Filho, J.M., R.M. Cunha, C.S. Dias, P.F. Athayde-Filho, M.S. da Silva, E.V.L. Da-Cunha, M.I.L. Machado, A.A. Craveiro, et I.A. Medeiros. 2008. « GC-MS analysis and cardiovascular activity of the essential oil of *Ocotea duckei* ». *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 18 (1): 37–41.
- Barceloux, D.G. 2008. *Medical Toxicology of Natural Substances: Foods, Fungi, Medicinal Herbs, Plants, and Venomous Animals*. John Wiley and Sons.
- Baruah, A., et S.C. Nath. 2006. « Leaf essential oils of *Cinnamomum glanduliferum* (Wall) Meissn and *Cinnamomum glaucescens* (Nees) Meissn ». *Journal of Essential Oil Research* 18 (2): 200–202.
- Berker, M.E., et A.F. Gerritsen. 1989. « A Suberized Layer in the Cell Wall of Mucilage Cells of *Cinnamomum* ». *Annals of Botany* 63 (4) (avril 1): 441–448.
- Billerbeck, V.-G. 2008. « Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques ». *Phytothérapie* 5 (5) (janvier): 249–253. doi:10.1007/s10298-007-0265-z.
- Bruleaux, A.M. 1990. « Deux productions passées de la forêt Guyanaise: l'essence de bois de rose et la gomme de balata = Two former productions of the Guianese forest: rosewood essence and balata gum ». *Bois et forêts des Tropiques* (219): 99–113.
- Bruneton, J. 1999. *Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants*. Intercept.
- Callado, C.H., et C.G. Costa. 1997. « Wood anatomy of some *Anaueria* and *Beilschmiedia* species (Lauraceae) ». *LAWA Journal* 18 (3): 247–259.
- Carlquist, Sherwin John. 2001. *Comparative wood anatomy: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. Springer.

BIBLIOGRAPHIE

- Ceolin, G.B., J.M. Rosito, et T.S. Canto-Dorow. 2009. « Leaf surface characters applied to Lauraceae taxonomy in a Seasonal Forest of Southern Brazil ». *Brazilian Archives of Biology and Technology* 52: 1453–1460.
- Chanderbali, A.S., H. van der Werff, et S. Renner. 2001. « Phylogeny and historical biogeography of Lauraceae: Evidence from the chloroplast and nuclear genomes ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 88: 104–134. doi:10.2307/2666133.
- Chase, M.W., N. Salamin, M. Wilkinson, J.M. Dunwell, R.P. Kesanakurthi, N. Haidar, et V. Savolainen. 2005. « Land plants and DNA barcodes: Short-term and long-term goals ». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360 (1462): 1889–1895.
- Chase, M.W., D.E. Soltis, R.G. Olmstead, D. Morgan, D.H. Les, B.D. Mishler, M.R. Duvall, et al. 1993. « Phylogenetics of Seed Plants: An Analysis of Nucleotide Sequences from the Plastid Gene *rbcL* ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80 (3): 528–580.
- Chaverri, C., et J.F. Ciccío. 2005. « Essential oil of trees of the genus *Ocotea* (Lauraceae) in Costa Rica. I. *Ocotea brenesii* ». *Revista de Biología Tropical* 53 (3-4): 431–436.
- China Plant BOL Group, De-Zhu Li, Lian-Ming Gao, Hong-Tao Li, Hong Wang, Xue-Jun Ge, Jian-Quan Liu, et al. 2011. « Comparative analysis of a large dataset indicates that internal transcribed spacer (ITS) should be incorporated into the core barcode for seed plants ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (49) (décembre 6): 19641–19646. doi:10.1073/pnas.1104551108.
- Clarke, K. R. 1993. « Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure ». *Australian Journal of Ecology* 18 (1): 117–143.
- Courtois, E., C. Paine, P.-A. Blandinieres, D. Stien, J.-M. Bessière, E. Houel, C. Baraloto, et J. Chave. 2009. « Diversity of the Volatile Organic Compounds Emitted by 55 Species of Tropical Trees: a Survey in French Guiana ». *Journal of Chemical Ecology* 35 (11) (novembre 1): 1349–1362. doi:10.1007/s10886-009-9718-1.
- Cowan, R.S., M.W. Chase, W.J. Kress, et V. Savolainen. 2006. « 300,000 Species to identify: Problems, progress, and prospects in DNA barcoding of land plants ». *Taxon* 55 (3): 611–616.
- DeFilipps, R.A., S.L. Maina, et J. Crepin. 2004. « Medicinal Plants of the Guianas (Guyana, Surinam, French Guiana) ». Biological Diversity of the Guiana Shield Program, Smithsonian Institution. <http://www.mnh.si.edu/biodiversity/bdg/medicinal/>.
- Deharo, E., G. Bourdy, C. Quenevo, V. Muñoz, G. Ruiz, et M. Sauvain. 2001. « A search for natural bioactive compounds in Bolivia through a multidisciplinary approach. Part V. Evaluation of the antimalarial activity of plants used by the Tacana Indians ». *Journal of Ethnopharmacology* 77 (1): 91–98.
- Détienne, P. 1988a. « Apport de l'anatomie des bois à la botanique tropicale ». *Bulletin de la Société botanique Française*.
- . 1988b. *Cours illustré d'anatomie des bois*. Editions Quae.
- Détienne, P., et P. Jacquet. 1983. *Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines*. Centre technique forestier tropical.
- Empereire, L. 1996. *La forêt en jeu: l'extractivisme en Amazonie centrale*. IRD Editions.
- Erickson, D.L., J. Spouge, A. Resch, L.A. Weigt, et W.J. Kress. 2008. « DNA barcoding in land plants: Developing standards to quantify and maximize success ». *Taxon* 57 (4): 1304–1316.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants*. Wiley.
- Evert, R.F., et K. Esau. 2006. *Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. John Wiley and Sons.

BIBLIOGRAPHIE

- Farooqi, M.I.H. 2008. *Dictionary of Indian plant gums, resins dyes and related products (Chemistry, Botany and Utilization)*. First Edition. India: Sidrah Publishers.
- Fengel, D., et G. Wegener. 1984. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. W. de Gruyter.
- Florenço De Sousa, F.C., A. Paiva Monteiro, C.T. Vasconcelos De Melo, G. Rebouças De Oliveira, S.M. Mendes Vasconcelos, M.M. De França Fonteles, S.J. Chavez Gutierrez, J.M. Barbosa-Filho, et G.S. Barros Viana. 2005. « Antianxiety effects of riparin I from *Aniba riparia* (Nees) Mez (Lauraceae) in mice ». *Phytotherapy Research* 19 (12): 1005–1008.
- Foster, A. S. 1956. « Plant idioblasts: Remarkable examples of cell specialization ». *Protoplasma* 46 (1-4) (mars): 184–193. doi:10.1007/BF01248877.
- Fournet, A., A.A. Barrios, et V. Muñoz. 1994. « Leishmanicidal and trypanocidal activities of Bolivian medicinal plants ». *Journal of Ethnopharmacology* 41 (1-2) (janvier): 19–37. doi:10.1016/0378-8741(94)90054-X.
- Frizzo, C.D., A.C. Santos, N. Paroul, L.A. Serafini, E. Dellacassa, D. Lorenzo, et P. Moyna. 2000. « Essential oils of camphor tree (*Cinnamomum camphora* Nees & Eberm) cultivated in Southern Brazil ». *Brazilian Archives of Biology and Technology* 43: 313–316.
- Gao, Z.-Z., J. Sun, H. Wu, D.-Y. Tu, L.-T. Guan, et B.-T. Li. 2009. « Comparative study on wood anatomical structure of 14 species belonging to 10 genera of Lauraceae ». *Forest Research* 22 (3): 413–417.
- Gebreselassie, P., et N. Boghani. 2006. « Stable tooth whitening gum with reactive ingredients ».
- Gielly, L., et P. Taberlet. 1994. « The use of chloroplast DNA to resolve plant phylogenies: noncoding versus rbcL sequences. » *Molecular Biology and Evolution* 11 (5): 769–777.
- Gonzalez, M.A., C. Baraloto, J. Engel, S.A. Mori, P. Pétronelli, B. Riéra, A. Roger, C. Thébaud, et J. Chave. 2009. « Identification of Amazonian Trees with DNA Barcodes ». *PLoS ONE* 4 (10) (octobre 16): e7483. doi:10.1371/journal.pone.0007483.
- Gottlieb, O.R. 1972. « Chemosystematics of the Lauraceae* 1 ». *Phytochemistry* 11 (5): 1537–1570.
- Grenand, P., C. Moretti, H. Jacquemin, et M.-F. Prévost. 2004. *Pharmacopées traditionnelles en Guyane: Créoles, Wayãpi, Palikur*. 2^e éd. Mémoires ORSTOM 108. IRD Editions.
- Grondin, P., A. Pibot, et T. Van Cawuwenberghe. 1997. *Caractères végétatifs et reconnaissance de familles botaniques tropicales*. Montpellier.
- Güenther, E. 1950. *The essential oils. 4: Individual essential oils of the plant families Gramineae, Lauraceae, Burseraceae, Myrtaceae, Umbelliferae and Geraniaceae*. Van Nostrand.
- Hajibabaei, M., G.A.C. Singer, P.D.N. Hebert, et D.A. Hickey. 2007. « DNA barcoding: how it complements taxonomy, molecular phylogenetics and population genetics ». *TRENDS in Genetics* 23 (4): 167–172.
- Hearst, P. J. 1963. *Greenheart alkaloids*. Storming Media.
- Heo, K., H. van der Werff, et H. Tobe. 1998. « Embryology and relationships of Lauraceae (Laurales) ». *Botanical Journal of the Linnean Society* 126 (4) (avril): 295–322. doi:10.1111/j.1095-8339.1998.tb01383.x.
- Hoff, M., G. Cremers, J.-J. de Granville, V. Guérin, et J.-F. Molino. 2007. « Base de données botaniques Aublet2 de l'Herbier de Guyane française (CAY) ». <http://www.cayenne.ird.fr/aublet2/>.
- Hollingsworth, P.M., L.L. Forrester, J.L. Spouge, M. Hajibabaei, S. Ratnasingham, M. Van Der Bank, M.W. Chase, et al. 2009. « A DNA barcode for land plants ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (31): 12794–12797.
- InsideWood. 2004. « Inside Wood Database ». <http://insidewood.lib.ncsu.edu/>.
- Jaccard, P. 1901. *Distribution de la Flore Alpine: dans le Bassin des dranses et dans quelques régions voisines*. Rouge.

BIBLIOGRAPHIE

- Janssonius, H. H. 1926. « Mucilage cells and oil cells in the wood of the Lauraceae ». *Tropical Woods* (6): 3–4.
- Jantan, I.B., B.A. Karim Moharam, J. Santhanam, et J.A. Jamal. 2008. « Correlation between chemical composition and antifungal activity of the essential oils of eight Cinnamomum species ». *Pharmaceutical Biology* 46 (6): 406–412.
- Jantan, I.B., M.F. Yalvema, N.W. Ahmad, et J.A. Jamal. 2005. « Insecticidal Activities of the Leaf Oils of Eight Cinnamomum species Against *Aedes aegypti*. and *Aedes albopictus*. » *Pharmaceutical Biology* 43 (6): 526–532.
- Jayaprakasha, G., et L.J.M. Rao. 2004. « Use of fraction from cinnamomum zeylanicum for preserving food ». <http://www.google.fr/patents/about?id=sXaVAAAAEBAJ&dq=jayaprakasha+patent+2004>.
- Judd, W.S., C.S. Campbell, J. Bouharmont, E.A. Kellogg, C.-M. Évrard, et P. Stevens. 2001. *Botanique systématique: une perspective phylogénétique*. De Boeck Université.
- Kane, N.C., et Q. Cronk. 2008. « Botany without borders: Barcoding in focus ». *Molecular Ecology* 17 (24): 5175–5176.
- Keller, R. 1994. « La constitution du bois ». Dans *Le bois matériau d'ingénierie*, 13–51. Nancy: Arbolor.
- Kimoto, Yukitoshi, Nanda Utami, et H. Tobe. 2006. « Embryology of Eusideroxylon (Cryptocaryeae, Lauraceae) and character evolution in the family ». *Botanical Journal of the Linnean Society* 150 (2) (février): 187–201. doi:10.1111/j.1095-8339.2006.00458.x.
- Kostermans, A.J.G.H. 1938. « The African Lauraceae I (Revision of the Lauraceae IV) ». *Bulletin du Jardin botanique de l'État à Bruxelles* 15 (1) (juin): 73–108.
- . 1993. « Reduction of *Gamanthera* to *Licaria* (Lauraceae) ». *Taxon* 42 (4): 853–854.
- Kress, W.J., et D.L. Erickson. 2007. « A two-locus global DNA barcode for land plants: the coding rbcL gene complements the non-coding trnH-psbA spacer region. » *PLoS one* 2 (6). <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77951631088&partnerID=40&md5=229ae29c9183d1ae95b2c226c464bd08>.
- . 2008. « DNA barcodes: Genes, genomics, and bioinformatics ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (8): 2761–2762.
- Kress, W.J., D.L. Erickson, F.A. Jones, N.G. Swenson, R. Perez, O. Sanjur, et E. Bermingham. 2009. « Plant DNA barcodes and a community phylogeny of a tropical forest dynamics plot in Panama ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (44): 18621–18626.
- Kress, W.J., K.J. Wurdack, E.A. Zimmer, L.A. Weigt, et D.H. Janzen. 2005. « Use of DNA barcodes to identify flowering plants ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (23) (juin 7): 8369–8374. doi:10.1073/pnas.0503123102.
- Kubitzki, K., et S. Renner. 1982. « Lauraceae I (Aniba and Aiouea) ». *Flora Neotropica* 31 (octobre 5): 1–124.
- Lahlou, S., P.J. Caldas Magalhães, R.J.B. de Siqueira, A.F. Figueiredo, L.F. Leal Interaminense, J.G.S. Maia, et P.J.C. Sousa. 2005. « Cardiovascular effects of the essential oil of Aniba canelilla bark in normotensive rats ». *Journal of Cardiovascular Pharmacology* 46 (4): 412–421.
- Lee, S.C., S.J. Chiou, J.H. Yen, T.Y. Lin, K.T. Hsieh, et J.C. Yang. 2010. « DNA barcoding *Cinnamomum osmophloeum* Kaneh. based on the partial non-coding ITS2 region of ribosomal genes ». *J. Food Drug Anal* 18: 128–135.
- Librado, P., et J. Rozas. 2009. « DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data ». *Bioinformatics* 25 (11): 1451.

BIBLIOGRAPHIE

- Lima, A.B. de, M.B. Santana, A.S. Cardoso, J.K.R. da Silva, J.G.S. Maia, J.C.T. Carvalho, et P.J.C. Sousa. 2009. « Antinociceptive activity of 1-nitro-2-phenylethane, the main component of Aniba canelilla essential oil ». *Phytomedicine* 16 (6-7): 555–559. doi:10.1016/j.phymed.2008.10.007.
- Lin, T.-C., G. Krishnaswamy, et D. Chi. 2008. « Incense smoke: clinical, structural and molecular effects on airway disease ». *Clinical and Molecular Allergy* 6 (1): 3. doi:10.1186/1476-7961-6-3.
- Loutfy, M.H.A. 2009. « Wood anatomy and its implications on the taxonomy of Apollonias Nees (Lauraceae) ». *Feddes Repertorium* 120 (1-2) (mai): 75–90. doi:10.1002/fedr.200911195.
- Mabberley, D.J. 1997. *The plant-book*. Cambridge University Press.
- Madan, M.S., et S. Kannan. 2004. « 12 Economics and Marketing of Cinnamon and Cassia—A Global View ». *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*: 285.
- Magallón, Susana, et Amanda Castillo. 2009. « Angiosperm diversification through time ». *American Journal of Botany* 96 (1) (janvier 1): 349–365. doi:10.3732/ajb.0800060.
- Maia, J.G.S., M.D.G.B. Zoghbi, E.H.A. Andrade, et Museu Paraense Emílio Goeldi. 2001. *Plantas aromáticas na Amazônia e seus óleos essenciais*. Adolpho Ducke. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Meyer, C.P., et G. Paulay. 2005. « DNA barcoding: error rates based on comprehensive sampling ». *PLoS Biology* 3 (12): e422.
- Miller, R.B., et P. Détienne. 2001. « Major timber trees of Guyana. Wood anatomy ». *Tropenbos Series (Netherlands)*.
- Morais, A.A. de, C.M.D.M.R. Andrade, M.V. von Bulow, O.R. Gottlieb, M.C. Marx, A.I. Da Rocha, et M.T. Magalhães. 1972. « Óleos essenciais de espécies do gênero Aniba ». *Acta Amazonica* 2 (1): 41–44.
- Nath, S.C., M. G. Pathak, et A. Baruah. 1996. « Benzyl benzoate, the major component of the leaf and stem bark oil of *Cinnamomum zeylanicum* Blume ». *Journal of Essential Oil Research* 8 (3): 327–328.
- Nei, Masatoshi. 1977. « F- statistics and Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations ». *Annals of Human Genetics* 41 (2) (octobre 1): 225–233. doi:10.1111/j.1469-1809.1977.tb01918.x.
- Normand, D. 1972. *Manuel d'identification des bois commerciaux*. Centre technique forestier tropical.
- Palazzo, M.C., B.R. Agius, B.S. Wright, W.A. Haber, D.M. Moriarity, et W.N. Setzer. 2009. « Chemical Compositions and Cytotoxic Activities of Leaf Essential Oils of Four Lauraceae Tree Species from Monteverde, Costa Rica ». *Records of Natural Products* 3 (1): 32–37.
- Patel, K., S. Ali, S. Stheeswaran, et J.-P. Dufour. 2007. « Composition of the leaf essential oil of *cinnamomum verum* (Lauraceae) from Fiji Islands ». *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* 10 (5) (septembre): 374–377.
- Le Quesne, P.W., J.F. Larrahondo, et R.F. Raffauf. 1980. « Antitumor plants. X. Constituents of *Nectandra rigida* ». *Journal of Natural Products* 43 (3): 353–359.
- Rali, T., S.W. Wossa, et D.N. Leach. 2007. « Comparative chemical analysis of the essential oil constituents in the bark, heartwood and fruits of *Cryptocarya massoy* (Oken) Kosterm.(Lauraceae) from Papua New Guinea ». *Molecules* 12: 149–154.
- Raven, P.H., R.F. Evert, et S.E. Eichhorn. 2003. *Biologie végétale*. De Boeck Université.
- Renner, S.S. 2005. « Variation in diversity among Laurales, Early Cretaceous to present ». *Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab* 55: 441–458.

BIBLIOGRAPHIE

- Richter, H.G. 1980. « Occurrence, morphology and taxonomic implications of crystalline and siliceous inclusions in the secondary xylem of the Lauraceae and related families ». *Wood Science and Technology* 14 (1): 35–44.
- . 1981a. « Anatomie des sekundären Xylerns und der Rinde der Lauraceae ». *Sonderb. Naturwiss. Ver-eins Hamburg* 5: 1–148.
- . 1981b. « Wood and bark anatomy of Lauraceae I. Aniba Aublet ». *LAWA Bulletin* 2: 79–87.
- . 1985. « Wood and bark anatomy of Lauraceae. II. Licaria Aublet ». *LAWA Bulletin* 6 (3): 187–199.
- Richter, H.G., et H. van der Werff. 1996. « Toward an improved classification of Lauraceae ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83: 409–418. doi:10.2307/2399870.
- Rohwer, J.G. 1993. « Lauraceae: Nectandra. Flora Neotropica, Monograph 60 ». *New York Botanical Garden*.
- . 2000. « Toward a Phylogenetic Classification of the Lauraceae: Evidence from matK Sequences ». *Systematic Botany* 25 (1) (janvier): 60. doi:10.2307/2666673.
- Rohwer, J.G., H.G. Richter, et H. van der Werff. 1991. « Two New Genera of Neotropical Lauraceae and Critical Remarks on the Generic Delimitation ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 78 (2): 388–400.
- Rollet, B. 1980. « Intérêt de l'étude des écorces dans la détermination des arbres tropicaux sur pied (1ère partie) ». *Bois et forêts des Tropiques* (194): 3–28.
- . 1982. « Intérêt de l'étude des écorces dans la détermination des arbres tropicaux sur pied ». *Bois et forêts des Tropiques* (195): 31–50.
- Roth, I. 1981. *Structural patterns of tropical barks*. Borntraeger.
- Sangwan, N.S., A.H.A. Farooqi, F. Shabih, et R.S. Sangwan. 2001. « Regulation of essential oil production in plants ». *Plant Growth Regulation* 34 (1): 3–21.
- Scora, R.W., B.O. Bergh, et J. Anthony Hopfinger. 1975. « Leaf alkanes in Persea and related taxa ». *Biochemical Systematics and Ecology* 3 (4): 215–218.
- Scora, R.W., et P.E. Scora. 2000. « Essential Oils of Persea subgenus Persea (Lauraceae) ». *Journal of Essential Oil Research* 12 (6): 709–713.
- Senanayake, U.M., et R.O.B. Wijesekera. 2004. « 3 Chemistry of Cinnamon and Cassia ». Dans *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*, 80.
- Shaw, J., E.B. Lickey, J.T. Beck, S.B. Farmer, W. Liu, J. Miller, K.C. Siripun, C.T. Winder, E.E. Schilling, et R.L. Small. 2005. « The tortoise and the hare II: relative utility of 21 noncoding chloroplast DNA sequences for phylogenetic analysis ». *American Journal of Botany* 92 (1) (janvier 1): 142–166. doi:10.3732/ajb.92.1.142.
- Shylaja, M., P.N. Ravindran, et K.N. Babu. 2004. « 15 Other Useful Species of Cinnamomum ». Dans *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*, 330.
- Silva, J.R. de A., D.F. M. do Carmo, E.M. Reis, G.M.C. Machado, L.L. Leon, B.O. da Silva, J.L.P. Ferreira, et A.C.F. Amaral. 2009. « Chemical and biological evaluation of essential oils with economic value from Lauraceae species ». *Journal of the Brazilian Chemical Society* 20 (6). doi:10.1590/S0103-50532009000600011. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-50532009000600011&script=sci_arttext.
- Smith, J.F., W.J. Kress, et E.A. Zimmer. 1993. « Phylogenetic analysis of the Zingiberales based on rbcL sequences ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80 (3): 620–630.
- Sousa, F.C.F., C.T.V. Melo, A.P. Monteiro, V.T.M. Lima, S.J.C. Gutierrez, B.A. Pereira, J.M. Barbosa-Filho, S.M.M. Vasconcelos, M.F. Fonteles, et G.S.B. Viana. 2004. « Antianxiety

- and antidepressant effects of riparin III from *Aniba riparia* (Nees) Mez (Lauraceae) in mice ». *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 78 (1): 27–33.
- Spooner, David M. 2009. « DNA barcoding will frequently fail in complicated groups: An example in wild potatoes ». *American Journal of Botany* 96 (6) (juin 1): 1177–1189. doi:10.3732/ajb.0800246.
- Srivastava, L. M. 1964. « Anatomy, chemistry, and physiology of bark ». *International Review of Forest Research* 1: 77–203.
- Stern, W. L. 1954. « Comparative anatomy of xylem and phylogeny of Lauraceae ». *Tropical Woods* 100: 1–73.
- Steven G., Newmaster, et Ragupathy Subramanyam. 2009. « Testing Plant Barcoding in a Sister Species Complex of Pantropical *Acacia* (Mimosoideae, Fabaceae) ». *Molecular Ecology Resources* 9 (mai 1): 172–180. doi:10.1111/j.1755-0998.2009.02642.x.
- Steven, P.S. 2001. « Angiosperm Phylogeny Website ». <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- Suffredini, I.B., M.L.B. Paciencia, A. D Varella, et R. N Younes. 2007. « In vitro cytotoxic activity of Brazilian plant extracts against human lung, colon and CNS solid cancers and leukemia ». *Fitoterapia* 78 (3): 223–226.
- Telascrea, M., C.C. de Araújo, A.J. Cavalheiro, M.O.M. Marques, R. Facanali, et P.L.R. de Moraes. 2008. « Essential oils from leaves of *Cryptocarya* spp. from the atlantic rain forest ». *Química Nova* 31 (3). doi:10.1590/S0100-40422008000300007. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422008000300007&script=sci_arttext&tlng=en.
- Thomas, G., U.J.V. Castelo Branco, J.M. Barbosa Filho, M. Bachelet, et B.B. Vargaftig. 1994. « Studies on the mechanism of spasmolytic activity of (O-methyl)-N-(2,6-dihydroxybenzoyl)tyramine, a constituent of *Aniba riparia* (Nees) Mez. (Lauraceae), in rat uterus, rabbit aorta and guinea-pig alveolar leucocytes ». *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 46 (2): 103–107.
- Ung, V., G. Dubus, R. Zaragüeta-Bagils, et R. Vignes-Lebbe. 2010. « Xper2: introducing e-taxonomy ». *Bioinformatics* 26 (5): 703.
- Valentini, A., C. Miquel, M.A. Nawaz, E. Bellemain, E. Coissac, F. Pompanon, L. Gielly, et al. 2009. « New perspectives in diet analysis based on DNA barcoding and parallel pyrosequencing: the trnL approach ». *Molecular Ecology Resources* 9 (1) (janvier): 51–60. doi:10.1111/j.1755-0998.2008.02352.x.
- Vijayan, K.K., et R.V.A. Thampuran. 2004. « 11 Pharmacology and Toxicology of Cinnamon and Cassia ». Dans *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*, 259.
- Watson, L., et M.J. Dallwitz. 1992. « The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval (Version: 20 Mai 2010) ». *Angiosperm Families*. <http://delta-intkey.com>.
- Werff, H. van der. 1987. « A Revision of *Mezilaurus* (Lauraceae) ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 74 (1): 153–182.
- . 1997. « *Sextonia*, a New Genus of Lauraceae from South America ». *Novon* 7 (4): 436–439.
- Werff, H. van der, et P. K. Endress. 1991. « *Gamanthera* (Lauraceae), a new genus from Costa Rica ». *Annals of the Missouri Botanical Garden* 78 (2): 401–408.
- Wright, S. 1965. « The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating ». *Evolution*: 395–420.

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

FIGURE 1: DISTRIBUTION DES LAURACEES A TRAVERS LE MONDE (STEVEN 2001)	19
FIGURE 2: CLASSIFICATION DES LAURACEES A L'AIDE DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES MODIFIEE (RICHTER 1981A).....	21
FIGURE 3: ARBRE CONSENSUS DU SEQUENÇAGE DU GENE MATK (ROHWER 2000)	22
FIGURE 4: ARBRE PHYLOGENIQUE DES LAURACEES OBTENU PAR SEQUENÇAGE DES GENES TRNH-PSBA (CHANDERBALI, WERFF, AND RENNER 2001).....	23
FIGURE 5: LAURACEES: CASSYTHA FILIFORMIS (A) ET UNE ESPECE NON IDENTIFIEE DE GUYANE (B)	24
FIGURE 6: SYNTHÈSE DES RENDEMENTS EN HUILE ESSENTIELLE EXTRAITE DE FEUILLES.....	30
FIGURE 7: DISPOSITIONS DES RAYONS PHLOEMIENS EN SECTION TRANSVERSALE (ROLLET 1982)	32
FIGURE 8: DISPOSITIONS DES CELLULES PIERREUSES EN SECTION TRANSVERSALE (ROLLET 1982)	32
FIGURE 10: TISSUS FONCTIONNELS D'UN ARBRE.....	43
FIGURE 11: SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE TIGE DE LAURACEE.....	45
FIGURE 12 : COUPE TRANSVERSALE DE LYCIUM MINIMUM (A) VAISSEAUX EN DENDRITES ET BUMELIA OBOVATA (B), VAISSEAUX EN LIGNES TANGENTIELLES	46
FIGURE 13: PONCTUATIONS INTERVASCULAIRES ALTERNEES, OPPOSEES ET SCALARIFORMES.....	46
FIGURE 14: THYLLES SCLEREUX (A) ET FINS (B) EN COUPE TRANSVERSALE ET EN COUPE TANGENTIELLE (C).....	47
FIGURE 16: RAYONS LIGNEUX HOMOCCELLULAIRES (A) ET HETEROCELLULAIRES DE TYPE II ET I (B)	48
FIGURE 17: DISPOSITIONS DES CELLULES DE PARENCHYME DANS LE BOIS	49
FIGURE 18: PONCTUATIONS DE CHAMP DE CROISEMENT OOFORMES (3 A 5 PAR CHAMP DE CROISEMENT).....	50
FIGURE 19: CELLULES A HUILE ASSOCIEES AU PARENCHYME RADIAL (A : COUPE TANGENTIELLE & B : COUPE RADIALE) ET LONGITUDINAL (C)....	51
FIGURE 20: CRISTAUX STYLOÏDES (A), PRISMATIQUES (B) ET CORPUSCULES DE SILICE (C)	51
FIGURE 21: STRUCTURE SCHEMATIQUE D'UNE CELLULE A HUILE	53
FIGURE 22: REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE CELLULE A MUCILAGE	53
FIGURE 23: CELLULES A MUCILAGE (A) MISES EN EVIDENCE EN BLEU (B) CHEZ E. MULTIFLORA.....	56
FIGURE 24: COUPES TRANSVERSALES DE MEZILAUROS ITAUBA.....	57
FIGURE 25: BAINS DE COLORATION SUCCESSIFS POUR LA PREPARATION DE LAMES HISTOLOGIQUES	65
FIGURE 26: PROTOCOLE D'OBSERVATION EN ANATOMIE.....	66
FIGURE 27: ANALYSE MDS NON-METRIQUE SUR DES DONNEES BINAIRES (A) ET MIXTES (B)	69
FIGURE 28 : ANALYSE NMDS DES CARACTERISTIQUES ANATOMIQUES DU BOIS.....	83
FIGURE 29: NMDS SUR LES MAJORITAIRES ET CERTAINS GENRES DU GROUPE MINORITAIRES	86
FIGURE 30: ANALYSE NMDS ANIBA ET MINORITAIRES.....	87
FIGURE 31: ANALYSE NMDS LICARIA ET MINORITAIRES	88
FIGURE 32: ANALYSE NMDS OCOTEA ET MINORITAIRES.....	89
FIGURE 33: ANALYSE NMDS ANIBA, LICARIA ET OCOTEA	90
FIGURE 34 : EXEMPLES DE FIBRE SOUPLE A (COEFFICIENT =0,78) ET RIGIDE (COEFFICIENT =7%)	92
FIGURE 35: COEFFICIENTS DE SOUPLISSE DES FIBRES EN FONCTION DES ESPECES	92
FIGURE 36: DENSITE DE CELLULES SECRETRICES EN FONCTION DES ESPECES	93
FIGURE 37: ANALYSES NMDS COMPARATIVES DES ECHANTILLONS OBSERVES.....	95
FIGURE 38 : PROPOSITION D'UNE CLE D'IDENTIFICATION ANATOMIQUE	99
FIGURE 39: TERPENES COMMUNS (A) ET QUELQUES TYPES STRUCTURAUX DE TERPENOÏDES (B).....	126
FIGURE 40: VOIES DE BIOSYNTHESES DES TERPENOÏDES (KESSELMEIER ET STAUDT 1999)	126
FIGURE 41: TERPENOÏDES FREQUEMMENT DECRITS DANS LA LITTERATURE	127
FIGURE 42: VOIES DE BIOSYNTHESE DES PHENYLPROPANOÏDES (N.S. SANGWAN ET AL. 2001)	128
FIGURE 43: STRUCTURES DE LA PHENYLALANINE ET DE DIVERS COMPOSES DERIVES	128
FIGURE 44: PROTOCOLE DE PRELEVEMENT DE L'ECORCE POUR LES ANALYSES CHROMATOGRAPHIQUES	143
FIGURE 45: PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE DES BOIS DESTINES A L'EXTRACTION.....	143
FIGURE 46: SCHEMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT D'UN CHROMATOGRAPHE EN PHASE GAZEUSE.....	145
FIGURE 47: PROCEDE D'EXTRACTION DE L'ESPACE DE TETE PAR UNE FIBRE SPME SELON SUPELCO™ (SIGMA-ALDRICH CHEMIE GMBH SANS DATE).....	146
FIGURE 48: STRUCTURE D'UNE FIBRE SPME	147

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

FIGURE 49: PHENOMENE D'ADSORPTION SUR PORES LARGES (A) ET SUR PORES ETROITS (B)	147
FIGURE 50: ASPECT D'UN PIC SATURE	147
FIGURE 51: PROTOCOLE D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES COV DES ECORCES	148
FIGURE 52: NOMBRE DE MOLECULES PAR ESPECE.....	154
FIGURE 53: REPARTITION DES FAMILLES CHIMIQUES EN FONCTION DES GENRES AVEC (A) ET SANS (B) LES SESQUITERPENES CYCLIQUES.....	155
FIGURE 54: ANALYSE NMDS SUR LES TYPES CHIMIQUES ET LA RICHESSE EN COMPOSES (UN POINT PAR ESPECE).....	156
FIGURE 55: ANALYSE NMDS PAR ESPECES	157
FIGURE 56: NMDS A 93,7% DE LA VARIANCE EXPLIQUEE PAR LES MOLECULES "BRUTES" (A) ET SPECIFIQUES (B)	158
FIGURE 57: ANALYSE NMDS DES ANIBA AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES	162
FIGURE 58: ANALYSE NMDS DES LICARIA AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES.....	166
FIGURE 59: ANALYSE NMDS DES OCOTEA AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES.....	171
FIGURE 60: REGROUPEMENT DES OCOTEA EN TYPES CHIMIQUES.....	181
FIGURE 61 : ANALYSE NMDS DES RHODOSTEMONODAPHNE AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES	183
FIGURE 62 ANALYSE NMDS DES ENDLICHERIA ET LES RHODOSTEMONODAPHNE AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES	187
FIGURE 63: ANALYSE NMDS SUR LES MOLECULES CARACTERISTIQUES DES GENRES MEZILAUROS ET RHODOSTEMONODAPHNE.....	189
FIGURE 64 : ANALYSE NMDS DES SEXTONIA ET LES RHODOSTEMONODAPHNE AVEC LES MOLECULES CARACTERISTIQUES	191
FIGURE 65: ADN CHLOROPLASTIQUE CIRCULAIRE	197
FIGURE 66: NOMBRE DE SITES POLYMORPHES PAR ESPECES	200
FIGURE 67: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSITIONNEMENT RELATIF DES GENRES ET DE LEURS RELATIONS A PARTIR DE LA DIFFERENCIATION GENETIQUE (F_{ST})	202
FIGURE 68 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSITIONNEMENT RELATIF DES ESPECES DU GENRE ANIBA ET DE LEURS RELATIONS A PARTIR DE LA DIFFERENCIATION GENETIQUE (F_{ST})	206
FIGURE 69 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSITIONNEMENT RELATIF DES ESPECES DU GENRE LICARIA ET DE LEURS RELATIONS A PARTIR DE LA DIFFERENCIATION GENETIQUE (F_{ST})	209
FIGURE 70 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSITIONNEMENT RELATIF DES ESPECES DU GENRE OCOTEA ET DE LEURS RELATIONS A PARTIR DE LA DIFFERENCIATION GENETIQUE (F_{ST})	212
FIGURE 71 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU POSITIONNEMENT RELATIF DES ESPECES DU GENRE RHODOSTEMONODAPHNE ET DE LEURS RELATIONS A PARTIR DE LA DIFFERENCIATION GENETIQUE (F_{ST})	214
FIGURE 72: CAPTURE D'ECRAN SUR LA BASE XPER ² LAUR_ID MODE "EDITION DES DESCRIPTEURS"	222
FIGURE 73 : CAPTURE D'ECRAN SUR LA BASE XPER ² LAUR_ID MODE "EDITION DES ITEMS"	223
FIGURE 74 : CAPTURE D'ECRAN SUR LA BASE XPER ² LAUR_ID MODE "IDENTIFICATION" – ETAPE 1.....	225
FIGURE 75 : CAPTURE D'ECRAN SUR LA BASE XPER ² LAUR_ID MODE "IDENTIFICATION" – ETAPE 2.....	226
FIGURE 76: RENDEMENTS EN HUILE ESSENTIELLE DES ECORCES DE LAURACEES	227
FIGURE 77 : RENDEMENTS EN HUILE ESSENTIELLE DES BOIS DE LAURACEES.....	228
FIGURE 78: CLASSEMENT DES HUILES ESSENTIELLES PAR NOTE DOMINANTE D'APRES L'ANALYSE DE L'EXPERT	229
FIGURE 79 : COMPOSITION CHIMIQUE DES DIFFERENTES NOTES OLFACTIVES DETERMINEES PAR L'EXPERT	230
FIGURE 80: PROPORTION DE LA SURFACE OCCUPEE PAR LES CELLULES A HUILE EN FONCTION DU RENDEMENT EN HUILE ESSENTIELLE DU BOIS .	236

TABLEAU 1 : CRISTAUX PRESENTS DANS LA FAMILLE DES LAURACEES	61
TABLEAU 2 : CORPUSCULES SILICEUX DE LA FAMILLE DES LAURACEES.....	62
TABLEAU 3 : SYNTHESE DES CRITERES CLE DE DISCRIMINATION DES GENRES CHEZ LES LAURACEES SELON LA BIBLIOGRAPHIE	63
TABLEAU 4 : INDICES UTILISES DANS L'ANALYSE NMDS.....	68
TABLEAU 5 : EXTRAIT DE L'ANALYSE SIMPER ENTRE LES GENRES ETUDIES.....	70
TABLEAU 6 : CRITERES DISTINGUANT LES GROUPES MAJORITAIRES ET MINORITAIRES	84
TABLEAU 7 : CRITERES DISCRIMINANTS DES GROUPES MAJORITAIRES ET DE QUELQUES GENRES DU GROUPE MINORITAIRES	86
TABLEAU 8 : CRITERES DISCRIMINANTS LES GENRES "MAJORITAIRES" ENTRE EUX	91
TABLEAU 10: PROTOCOLE D'ECHANTILLONNAGE	142
TABLEAU 11: PROGRAMME DE TEMPERATURES DE LA COLONNE	150

TABLE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

TABLEAU 12: TABLEAU D'ENTREE DES DONNEES DE GC/MS	150
TABLEAU 13: SIGNIFICATION DES INTITULES DU TABLEAU « TOUTES LAURACEAE »	151
TABLEAU 14 : CORRESPONDANCE CLASSE / R.A.	152
TABLEAU 15: MOLECULES PRINCIPALEMENT RESPONSABLES DE LA DIFFERENCES ENTRE GENRES	160
TABLEAU 16 : ANALYSE ANOSIM MENEES SUR LES GENRES DECRITS PAR 29 MOLECULES	161
TABLEAU 17: MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ ANIBA	164
TABLEAU 18: LISTE DES MOLECULES CARACTERISTIQUES ET PROPORTIONS CHEZ LES ANIBA ETUDIES	165
TABLEAU 19: MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ LICARIA	168
TABLEAU 20: LISTE DES MOLECULES CARACTERISANT LES LICARIA ETUDIES	169
TABLEAU 21 ^A : MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ OCOTEA	173
TABLEAU 22: LISTE DES MOLECULES CARACTERISANT LES OCOTEA ETUDIES	180
TABLEAU 23 : MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ RHODOSTEMONODAPHNE	184
TABLEAU 24 : LISTE DES MOLECULES CARACTERISANT LES RHODOSTEMONODAPHNE ETUDIES	186
TABLEAU 25: MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ OCOTEA	188
TABLEAU 26: MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ MEZILAEURUS	190
TABLEAU 27: MOLECULES CARACTERISTIQUES, ABONDANCES ET STRUCTURATION CHIMIQUE CHEZ SEXTONIA	193
TABLEAU 28: LISTE ET EFFECTIF DES ESPECES ETUDIEES POUR L'IDENTIFICATION PAR BARCODING	198
TABLEAU 29 : VALEURS DE DIFFERENCIATION GENETIQUE ENTRE GENRES (F_{ST}) ET DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE (H_S) INTRA GENRE POUR CHAQUE PAIRE DE GENRES	201
TABLEAU 30 : HAPLOTYPES ASSOCIES A LA SEQUENCE CONSENSUS DE CHAQUE GENRE	203
TABLEAU 31: HAPLOTYPE PAR INDIVIDU, SUR TOUS LES ARBRES ECHANTILLONNES	204
TABLEAU 32 : VALEURS DE DIFFERENCIATION GENETIQUE ENTRE ESPECES (F_{ST}) ET DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE (H_S) INTRA ESPECES POUR CHAQUE PAIRE D'ESPECES APPARTENANT AU GENRE ANIBA	205
TABLEAU 33 : REPARTITION DES 8 HAPLOTYPES AU SEIN DES INDIVIDUS DU GENRE ANIBA	207
TABLEAU 34 : REPARTITION DES 5 HAPLOTYPES AU SEIN DES INDIVIDUS DU GENRE ENDLICHERIA	208
TABLEAU 35 : VALEURS DE DIFFERENCIATION GENETIQUE ENTRE ESPECES (F_{ST}) ET DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE (H_S) INTRA ESPECES POUR CHAQUE PAIRE D'ESPECES APPARTENANT AU GENRE LICARIA	208
TABLEAU 36 : REPARTITION 5 HAPLOTYPES AU SEIN DES INDIVIDUS DU GENRE LICARIA	209
TABLEAU 37 : VALEURS DE DIFFERENCIATION GENETIQUE ENTRE ESPECES (F_{ST}) ET DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE (H_S) INTRA ESPECES POUR CHAQUE PAIRE D'ESPECES APPARTENANT AU GENRE OCOTEA	211
TABLEAU 38 : REPARTITION DES 7 HAPLOTYPES AU SEIN DES INDIVIDUS DU GENRE OCOTEA	213
TABLEAU 39 : VALEURS DE DIFFERENCIATION GENETIQUE ENTRE ESPECES (F_{ST}) ET DIVERSITE GENETIQUE MOYENNE (H_S) INTRA ESPECES POUR CHAQUE PAIRE D'ESPECES APPARTENANT AU GENRE RHODOSTEMONODAPHNE	214
TABLEAU 40 : REPARTITION DES HAPLOTYPES AU SEIN DU GENRE RHODOSTEMONODAPHNE	215
TABLEAU 41 : HAPLOTYPE DE MEZILAEURUS SP. 1	215
TABLEAU 42 : HAPLOTYPE DE S. RUBRA	215
TABLEAU 43 : DIVERSITE HAPLOTYPIQUE AU SEIN DES GENRES	216
TABLEAU 44 : DIVERSITE HAPLOTYPIQUE AU SEIN DES GENRES PAR ESPECE	217
TABLEAU 45 : NOMBRE DE MOLECULES MAJORITAIRES SIMILAIRES ENTRE LES COMPOSITIONS DES HUILES ESSENTIELLES EXTRAITES DU BOIS ET DE L'ECORCE	232
TABLEAU 46 : NOMBRE DE MOLECULES MAJORITAIRES SIMILAIRES ENTRE LES COMPOSITIONS DES HUILES ESSENTIELLES EXTRAITES DU BOIS ET DE L'ECORCE	233

ANNEXES

Annexe 1. Liste des Lauracées répertoriées en Guyane Française et leurs synonymes

<u>Genre</u> <u>Espèce</u>	<u>Déterminateur</u>	<u>Synonymes</u>
<i>Aiouea guianensis</i>	J.B. Aublet	<i>Aiouea demerarensis</i> Kostermans; <i>Aiouea rubra</i> Smith; <i>Aiouea schomburgkii</i> Meissner; <i>Aiouea tenella</i> C.G.D. Nees; <i>Laurus difformis</i> L.C. Richard; <i>Laurus hexandra</i> C.L. Willdenow
<i>Aiouea impressa</i>	(Meissner) Kostermans	<i>Aiouea minutiflora</i> B. Coe Teixeira; <i>Endlicheria impressa</i> (Meissner) Mez; <i>Phoebe impressa</i> Meissner
<i>Aiouea laevis</i>	(Martius) Kostermans	<i>Aiouea brasiliensis</i> Meissner; <i>Aiouea brasiliensis</i> Meissner var. <i>attenuata</i> Meissner; <i>Aiouea brasiliensis</i> Meissner var. <i>glabrifolia</i> Meissner; <i>Aiouea brasiliensis</i> Meissner var. <i>nitida</i> Meissner; <i>Aiouea densiflora</i> C.G.D. Nees; <i>Aiouea riedelii</i> Mez; <i>Aiouea scandens</i> Ducke; <i>Cryptocarya laevis</i> Martius; <i>Laurus maxima</i> Salzmänn ex Meissner
<i>Aiouea longipetiolata</i>	H. van der Werff	
<i>Aiouea opaca</i>	H. van der Werff	
<i>Aniba affinis</i>	(Meissner) Mez	
<i>Aniba citrifolia</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Aniba mülleriana</i> Mez; <i>Aniba opaca</i> A.C. Smith; <i>Aniba trinitatis</i> (Meissner) Mez; <i>Aydendron citrifolium</i> C.G.D. Nees; <i>Aydendron trinitatis</i> Meissner; <i>Cryptocarya pachycarpa</i> Gleason
<i>Aniba guianensis</i>	J.B. Aublet	<i>Aniba salicifolia</i> (C.G.D. Nees) Mez; <i>Aniba tessmannii</i> O.C. Schmidt; <i>Aydendron salicifolium</i> C.G.D. Nees; <i>Cedrota longifolia</i> C.L. Willdenow
<i>Aniba hostmanniana</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Aniba gigantifolia</i> O.C. Schmidt; <i>Aniba pittieri</i> O.C. Schmidt; <i>Aydendron hostmannianum</i> C.G.D. Nees
<i>Aniba cf. hypoglauc</i>	Sandwith	<i>Aniba ovalifolia</i> Mez
<i>Aniba jenmani</i>	Mez	<i>Aniba castanea</i> C.K. Allen
<i>Aniba megaphylla</i>	Mez	<i>Aniba anisopetala</i> Sandwith; <i>Aniba koumaroucapa</i> Kostermans; <i>Laurus koumaroucapa</i> L.C. Richard ex Kostermans
<i>Aniba panurensis</i>	(Meissner) Mez	<i>Aniba gonggrijpii</i> Kostermans; <i>Aniba mas</i> Kostermans; <i>Aniba williamsii</i> Brooks; <i>Aydendron panurense</i> Meissner
<i>Aniba parviflora</i>	(Meissner) Mez	<i>Aniba fragrans</i> Ducke; <i>Aydendron parviflorum</i> Meissner
<i>Aniba riparia</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Aniba kappleri</i> Mez, <i>Aniba duckei</i> Kostermans
<i>Aniba rosaeodora</i>	Ducke	<i>Aniba rosaeodora</i> Ducke var. <i>amazonica</i> Ducke; <i>Aniba simulans</i> C.K. Allen
<i>Aniba taubertiana</i>	Mez	
<i>Aniba terminalis</i>	Ducke	<i>Aniba murcana</i> C.K. Allen
<i>Aniba williamsii</i>	O.C. Schmidt	
<i>Beilschmiedia hexanthera</i>	H. van der Werff	
<i>Cassytha filiformis</i>	Linnaeus	<i>Cassytha americana</i> C.G.D. Nees; <i>Cassytha aphylla</i> Raeusch; <i>Cassytha brasiliensis</i> Martius; <i>Cassytha dissitiflora</i> Meissner; <i>Cassytha polysperma</i> Miller
<i>Chlorocardium rodiaei</i>	(Schomburgk) Rohwer, Richter, H. van der Werff	<i>Nectandra rodiaei</i> Rob. Schomburgk; <i>Ocotea rodiei</i> (Rob. Schomburgk ex Hooker) Mez
<i>Cinnamomum cinnamomifolia</i>	(Kunth) Kostermans	<i>Persea cinnamomifolia</i> Kunth; <i>Phoebe cinnamomifolia</i> (Kunth) C.G.D. Nees; <i>Phoebe filamentosa</i> C.K. Allen; <i>Phoebe mexicana</i> Meissner
<i>Cinnamomum triplinerve</i>	(Ruiz & Pav.) Kostermans	
<i>Cinnamomum verum</i>	J.S. Presl	
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Blume	<i>Laurus ceylanicum</i> Linnaeus; <i>Laurus cinnamomum</i> Linnaeus
<i>Cryptocarya guianensis</i>	Meissner	
<i>Endlicheria anomala</i>	(C.G.D. Nees) Mez	
<i>Endlicheria bracteolata</i>	(Meissner) C.K. Allen	<i>Oreodaphne bracteolata</i> Meissner; <i>Petalanthera bracteolata</i> C.G.D. Nees et C.F.P. Martius
<i>Endlicheria chalisea</i>	Chanderbali	

ANNEXES

<u>Genre</u> <u>Espèce</u>	<u>Déterminateur</u>	<u>Synonymes</u>
<i>Endlicheria endlicheriopsis</i>	(Mez) Kostermans	<i>Ocotea endlicheriopsis</i> Mez
<i>Endlicheria gracilis</i>	Kostermans	
<i>Endlicheria longicaudata</i>	(Ducke) Kosterm.	
<i>Endlicheria multiflora</i>	(Miquel) Mez	Ampelodaphne dasyantha C.F. Meisner in A.L. De Candolle; Goepertia multiflora Miquel, <i>Endlicheria melinonii</i> R. Benoist
<i>Endlicheria punctulata</i>	(Mez) C.K. Allen	<i>Ocotea punctulata</i> Mez
<i>Endlicheria pyriformis</i>	(C.G.D. Nees) Mez	Cryptocarya pyriformis C.G.D. Nees; Mespilodaphne pyriformis C.G.D. Nees; Mespilodaphne pyriformis C.G.D. Nees ex Meissner
<i>Endlicheria reflectens</i>	(C.G.D. Nees) Mez	
<i>Endlicheria rubriflora</i>	Mez	<i>Endlicheria wurdackiana</i> C.K. Allen
<i>Endlicheria sericea</i>	C.G.D. Nees	<i>Aniba sericea</i> (C.G.D. Nees) Brooks; <i>Aydendron sericeum</i> (Mez) Grisebach; <i>Laurus sericea</i> C.G.D. Nees; <i>Laurus sericea</i> Forsyth ex Meissner; <i>Laurus sericea</i> Hooker ex C.G.D. Nees; <i>Laurus splendens</i> Forsyth ex Meissner
<i>Endlicheria wurdackiana</i>	C.K. Allen	
<i>Kubitzkia mezii</i>	(Kostermans) H. van der Werff	<i>Goepertia geminiflora</i> sensu Meissner; <i>Systemonodaphne geminiflora</i> sensu Mez; <i>Systemonodaphne mezii</i> Kostermans
<i>Laurus discolor</i>	L.C. Richard	
<i>Licaria armeniaca</i>	(C.G.D. Nees) Kostermans	
<i>Licaria aurea</i>	(Huber) Kostermans	
<i>Licaria cannella</i>	(Meissner) Kostermans	<i>Acrodiclidium canella</i> (Meissner) Mez; <i>Acrodiclidium cayennense</i> (Meissner) Mez; <i>Aydendron cayennense</i> Meissner; <i>Licaria cayennensis</i> (Meissner) Kostermans
<i>Licaria chrysophylla</i>	(Meissner) Kostermans	<i>Acrodiclidium chrysophyllum</i> Meissner; <i>Acrodiclidium rigidum</i> Kostermans; <i>Licaria rigida</i> (Kostermans) Kostermans
<i>Licaria debilis</i>	(Mez) Kostermans	<i>Acrodiclidium debile</i> Mez
<i>Licaria guianensis</i>	J.B. Aublet	<i>Acrodiclidium aubletii</i> Kostermans; <i>Licaria appellei</i> (Mez) Kostermans
<i>Licaria oppositifolia</i> = <i>martiniana</i>	(Mez) Kostermans	<i>Acrodiclidium martinianum</i> Mez; <i>Licaria foveolata</i> (Mez) Lemée
<i>Licaria pachycarpa</i>	(Meissner) Kostermans	<i>Aydendron pachycarpum</i> Meissner
<i>Licaria polyphylla</i>	(C.G.D. Nees) Kostermans	<i>Acrodiclidium guianense</i> C.G.D. Nees; <i>Nectandra caudata</i> C.G.D. Nees et C.F.P. Martius
<i>Licaria rufotomentosa</i>	H. van der Werff	
<i>Licaria subbullata</i>	Kostermans	<i>Licaria wilhelminensis</i> C.K. Allen
<i>Licaria vernicosa</i>	(Mez) Kostermans	<i>Ocotea vernicosa</i> Mez
<i>Mezilaurus itauba</i>	(Meissner) Taubert ex Mez	<i>Acrodiclidium anacardioides</i> Meissner; <i>Acrodiclidium itauba</i> Meissner; <i>Acrodiclidium itauba</i> Meissner var. <i>amarella</i> Meissner; <i>Endiandra itauba</i> (Meissner) Bentham et J.D. Hooker; <i>Mezia anacardioides</i> (Meissner) O. Kuntze; <i>Mezia itauba</i> (Meissner) O. Kuntze; <i>Mezilaurus anacardioides</i> (Meissner) Taubert ex Mez; <i>Misanteca anacardioides</i> (Meissner) Bentham et J.D. Hooker; <i>Oreodaphne hookeriana</i> Meissner; <i>Silvia anacardioides</i> (Meissner) Mez; <i>Silvia itauba</i> (Meissner) F.A. Pax; <i>Silvia polyantha</i> Mez; <i>Silvia rondonii</i> Mez et Hoehne
<i>Mezilaurus SP</i>		
<i>Nectandra alaurel</i>	C.G.D. Nees	
<i>Nectandra amazonum</i>	C.G.D. Nees	<i>Nectandra ambigua</i> Meissner; <i>Nectandra pallida</i> C.G.D. Nees
<i>Nectandra cissiflora</i>	C.G.D. Nees	<i>Nectandra capanahuensis</i> O.C. Schmidt; <i>Nectandra kuntzeana</i> Mez; <i>Nectandra surinamensis</i> Mez
<i>Nectandra cuneato-cordata</i>	Mez	

ANNEXES

<i>Genre</i> <i>Espèce</i>	Déterminateur	Synonymes
<i>Nectandra cuspidata</i>	C.G.D. Nees et Martius	<i>Nectandra gentlei</i> Lundell; <i>Nectandra membranacea</i> (O.P. Swartz) Grisebach subsp. <i>cuspidata</i> (C.G.D. Nees) Rohwer; <i>Nectandra olivacea</i> Lasser; <i>Nectandra pichurium</i> (Kunth) Mez var. <i>cuprea</i> Mez
<i>Nectandra discolor</i>		
<i>Nectandra globosa</i>	(J.B. Aublet) Mez	<i>Laurus globosa</i> J.B. Aublet; <i>Nectandra globosa</i> (J.B. Aublet) Mez var. <i>barbeyana</i> Mez; <i>Nectandra pisi</i> Miquel; <i>Nectandra vaga</i> Meissner; <i>Nectandra vaga</i> Meissner var. <i>major</i> Meissner; <i>Nectandra vaga</i> Meissner var. <i>sprucei</i> Meissner; <i>Nectandra vaga</i> Meissner var. <i>vulgaris</i> Meissner; <i>Ocotea globosa</i> (J.B. Aublet) Schlechtendal et Chamisso; <i>Persea globosa</i> (J.B. Aublet) K.P. Sprengel
<i>Nectandra hihua</i>	(Ruiz et Pavon) Rohwer	<i>Laurus hihua</i> Ruiz et Pavon; <i>Nectandra schomburgkii</i> Meissner
<i>Nectandra maguireana</i>	C.K. Allen	<i>Nectandra amplifolia</i> Rusby
<i>Nectandra polita</i>	Nees et Martius ex Nees	<i>Laurus purpurea</i> Ruiz et Pavon; <i>Nectandra purpurea</i> (Ruiz et Pavon) Mez
<i>Nectandra pulverulenta</i>	C.G.D. Nees	<i>Laurus aestivalis</i> Vellozo
<i>Nectandra purpurea</i>		
<i>Nectandra reticulata</i>	(Ruiz et Pavon) Mez	<i>Laurus reticulata</i> Ruiz et Pavon; <i>Nectandra alauel</i> C.G.D. Nees var. <i>triquetra</i> Meissner; <i>Nectandra discolor</i> var. <i>subvenosa</i> Meissner; <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) C.G.D. Nees; <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) C.G.D. Nees var. <i>attenuata</i> Meissner; <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) C.G.D. Nees var. <i>intermedia</i> Meissner; <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) C.G.D. Nees var. <i>venosa</i> (C.G.D. Nees) Meissner; <i>Nectandra mollis</i> (Kunth) C.G.D. Nees var. <i>villosa</i> (C.G.D. Nees) Meissner; <i>Nectandra pittieri</i> Lasser; <i>Nectandra purusensis</i> Coe-Teixeira; <i>Nectandra villosa</i> C.G.D. Nees; <i>Nectandra villosa</i> C.G.D. Nees var. <i>venosa</i> C.G.D. Nees; <i>Ocotea mollis</i> Kunth; <i>Persea incana</i> Schott; <i>Persea mollis</i> (Kunth) K.P. Sprengel
<i>Ocotea aciphylla</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Aydendron aciphyllum</i> C.G.D. Nees; <i>Ocotea costulata</i> (C.G.D. Nees) Mez; <i>Ocotea finium</i> C.K. Allen; <i>Ocotea rhynchophylla</i> (Meissner) Mez; <i>Ocotea roraimae</i> Mez
<i>Ocotea amazonica</i>	(Meissner) Mez	<i>Aydendron amazonicum</i> Meissner; <i>Aydendron firmulum</i> C.G.D. Nees
<i>Ocotea argyrophylla</i>	Ducke	
<i>Ocotea bracteolata</i>	(Meissner) Allen	
<i>Ocotea canaliculata</i>	(L.C. Richard) Mez	<i>Laurus canaliculatus</i> L.C. Richard; <i>Laurus caroliniana</i> Poiret; <i>Ocotea grisebachiana</i> Mez; <i>Ocotea scrobiculata</i> R. Benoist; <i>Oreodaphne cayennensis</i> Meissner
<i>Ocotea caracasana</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Hufelandia caracasana</i> Klotzsch et Karsten; <i>Oreodaphne caracasana</i> C.G.D. Nees
<i>Ocotea ceanothifolia</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Mespilodaphne ceanothifolia</i> Meissner
<i>Ocotea cernua</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Camphoromoea surinamensis</i> Meissner; <i>Nectandra revoluta</i> Miquel; <i>Ocotea caudata</i> (C.G.D. Nees) Mez; <i>Ocotea marowynensis</i> (Miquel) Mez; <i>Ocotea urophylla</i> (Meissner) Mez; <i>Oreodaphne caudata</i> C.G.D. Nees; <i>Oreodaphne marowynensis</i> (Mez) Miquel; <i>Oreodaphne marowynensis</i> (Mez) Miquel
<i>Ocotea cinerea</i>	H. van der Werff	
<i>Ocotea commutata</i>	C.G.D. Nees	<i>Oreodaphne commutata</i> C.G.D. Nees ex Meissner
<i>Ocotea cujumari</i>	Martius	<i>Aydendron cujumari</i> C.G.D. Nees
<i>Ocotea cymbarum</i>	Kunth	<i>Laurus coruscans</i> C.L. Willdenow; <i>Nectandra amara</i> (C.F.P. Martius) C.G.D. Nees; <i>Nectandra cymbarum</i> C.G.D. Nees ex Meissner; <i>Ocotea amara</i> C.F.P. Martius; <i>Ocotea bracellensis</i> Mez
<i>Ocotea diffusa</i>	H. van der Werff	
<i>Ocotea discrepens</i>	C.K. Allen	
<i>Ocotea dissimilis</i>	C.K. Allen	
<i>Ocotea fasciculata</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Mespilodaphne fasciculata</i> Meissner; <i>Oreodaphne fasciculata</i> C.G.D. Nees

ANNEXES

<u>Genre</u> <u>Espèce</u>	<u>Déterminateur</u>	<u>Synonymes</u>
<i>Ocotea fendleri</i>	(Meissner) Rohwer	
<i>Ocotea floribunda</i>	(O.P. Swartz) Mez	<i>Ocotea wachenheimii</i> R. Benoist
<i>Ocotea glomerata</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Oreodaphne glomerata</i> C.G.D. Nees; <i>Oreodaphne moritziana</i> C.G.D. Nees
<i>Ocotea guianensis</i>	J.B. Aublet	<i>Laurus Ocotea</i> L.C. Richard
<i>Ocotea indirectinervia</i>	C.K. Allen	
<i>Ocotea leucoxydon</i>	(O.P. Swartz) J.M.A. de Lanessan	<i>Laurus leucoxydon</i> O.P. Swartz; <i>Ocotea acutangula</i> (Miquel) Mez; <i>Ocotea duotincta</i> C.K. Allen; <i>Ocotea lasseriana</i> C.K. Allen; <i>Oreodaphne acutangula</i> Miquel; <i>Oreodaphne leucoxydon</i> (O.P. Swartz) C.G.D. Nees; <i>Persea leucoxydon</i> K.P. Sprengel; <i>Phoebe membranacea</i> Macfadyen
<i>Ocotea longifolia</i>	Kunth	<i>Ocotea opifera</i> Martius
<i>Ocotea matogrossensis</i>	Vattimo	
<i>Ocotea neesiana</i>	(Miquel) Kostermans	<i>Gymnobalanus sprucei</i> Meissner; <i>Nectandra myriantha</i> Meissner; <i>Nectandra myriantha</i> Meissner var. <i>attenuata</i> Meissner; <i>Nectandra myriantha</i> Meissner var. <i>glabra</i> Meissner; <i>Nectandra neesiana</i> Miquel; <i>Nectandra paulii</i> C.K. Allen; <i>Ocotea fallax</i> (Miquel) Mez; <i>Ocotea florulenta</i> (Meissner) Mez; <i>Oreodaphne confusa</i> C.G.D. Nees; <i>Oreodaphne dispersa</i> C.G.D. Nees; <i>Oreodaphne fallax</i> Miquel
<i>Ocotea nigra</i>	R. Benoist	
<i>Ocotea oblonga</i>	(Meissner) Mez	<i>Mespilodaphne oblonga</i> Meissner
<i>Ocotea pauciflora</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Ocotea laxiflora</i> (Meissner) Mez
<i>Ocotea percurrens</i>	Vicentini	
<i>Ocotea persulcata</i>	C.K. Allen	
<i>Ocotea petalanthera</i>	(Meissner) Mez	<i>Oreodaphne Petalanthera</i> Meissner
<i>Ocotea puberula</i>	(L.C. Richard) C.G.D. Nees	<i>Gymnobalanus perseoides</i> Meissner; <i>Laurus borbonia</i> Lamarck; <i>Laurus puberula</i> (L.C. Richard) C.L. Willdenow; <i>Ocotea martiniana</i> (C.G.D. Nees) Mez var. <i>latifolia</i> C.G.D. Nees; <i>Ocotea prunifolia</i> Rusby; <i>Ocotea pyramidata</i> Blake; <i>Ocotea subglabra</i> R. Benoist; <i>Oreodaphne hostmanniana</i> Miquel; <i>Oreodaphne martiniana</i> C.G.D. Nees; <i>Strychnodaphne puberula</i> C.G.D. Nees et Martius
<i>Ocotea rubrinervis</i>	Mez	
<i>Ocotea rufovestita</i>	Ducke	
<i>Ocotea sandwithii</i>	Kostermans	
<i>Ocotea scabrella</i>	H. van der Werff	
<i>Ocotea scandens</i>	Kostermans	
<i>Ocotea schomburgkiana</i>	(C.G.D. Nees) Mez	<i>Nectandra nitidula</i> Miquel; <i>Ocotea schomburgkii</i> Mez; <i>Ocotea subalveolata</i> C.K. Allen; <i>Oreodaphne schomburgkiana</i> C.G.D. Nees
<i>Ocotea splendens</i>	(Meissner) Baillon	<i>Ocotea globifera</i> Mez; <i>Oreodaphne splendens</i> Meissner
<i>Ocotea subterminalis</i>	H. van der Werff	
<i>Ocotea tomentella</i>	Sandwith	
<i>Persea americana</i>	P. Miller	<i>Laurus Persea</i> Linnaeus; <i>Persea gratissima</i> Gaertner f.; <i>Persea Persea</i> (Linnaeus) Cockerell
<i>Persea nivea</i>	Mez	
<i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	(Mez) Rohwer	<i>Endlicheria grandis</i> Mez; <i>Nectandra dioica</i> Mez; <i>Nectandra grandis</i> (Mez) Kostermans; <i>Nectandra praeclara</i> Sandwith
<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>	(C.G.D. Nees) Rohwer	<i>Acrodiclidium kunthianum</i> C.G.D. Nees; <i>Nectandra kunthiana</i> (C.G.D. Nees) Kostermans; <i>Nectandra meyeriana</i> Lasser; <i>Ocotea cooperi</i> C.K. Allen; <i>Ocotea kunthiana</i> (C.G.D. Nees) Mez; <i>Pleurothyrium cowanianum</i> C.K. Allen
<i>Rhodostemonodaphne leptoclada</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne morii</i>	Madriñan	

ANNEXES

<u>Genre</u> <u>Espèce</u>	<u>Déterminateur</u>	<u>Synonymes</u>
<i>Rhodostemonodaphne praeclara</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne revolutifolia</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne saülensis</i>	Madriñan	
<i>Rhodostemonodaphne tumucumaquensis</i>	Madriñan	
<i>Sextonia rubra</i>	(Mez) H. van der Werff	Nectandra rubra (Mez) C.K. Allen; <i>Ocotea rubra</i> Mez

Annexe 2. Liste des noms vernaculaires toutes ethnies confondues des Lauracées du plateau des Guyane selon Detienne et al. (1982), Detienne et Jacquet (1983) et De Fillips et al. (2004)

Noms vernaculaires	Genre	Espèces
A-a-paima	<i>Aniba</i>	<i>canelilla</i>
Ashmud	<i>Aniba</i>	<i>canelilla</i>
Casca preciosa	<i>Aniba</i>	<i>canelilla</i>
Sipiropipo	<i>Aniba</i>	<i>hostmanniana</i>
Cannelle	<i>Cinnamomum</i>	<i>zeylanicum</i>
Kaneel	<i>Cinnamomum</i>	<i>zeylanicum</i>
Kaneelboom	<i>Cinnamomum</i>	<i>zeylanicum</i>
Kaneri	<i>Cinnamomum</i>	<i>zeylanicum</i>
Wi	<i>Endlicheria</i>	<i>bracteolata</i>
Wung-yik	<i>Endlicheria</i>	<i>multiflora</i>
Wi	<i>Endlicheria</i>	<i>sp.</i>
Ajoewi	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Apici-ie	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Bamba apici	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Banba apicie-ie	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Bois cannelle	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Brown silverballi	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Cèdre	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Cèdre	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Cèdre cannelle	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Itik	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Kamarai	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Kaneelheart	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Kaneerjoe	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Nutmeg	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Sieroeballi	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Su-lu-wa-bal-i-yik	<i>Licaria</i>	<i>cannella</i>
Bamba apici	<i>Licaria</i>	<i>chrysophylla</i>
Canella apici	<i>Licaria</i>	<i>chrysophylla</i>
Cèdre	<i>Licaria</i>	<i>chrysophylla</i>
Cèdre cannelle	<i>Licaria</i>	<i>chrysophylla</i>
Sassafras petites feuilles	<i>Licaria</i>	<i>chrysophylla</i>
Taoub jaune	<i>Mezilaurus</i>	<i>itauba</i>
Cèdre jaune	<i>Nectandra</i>	<i>globosa</i>
Maraganziman	<i>Nectandra</i>	<i>sanguinea</i>
Shirua	<i>Nectandra</i>	<i>sanguinea</i>

ANNEXES

Noms vernaculaires	Genre	Espèces
Apici-ie	<i>Ocotea</i>	<i>benthamiana</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>benthamiana</i>
Harirao shiruaballi	<i>Ocotea</i>	<i>canaliculata</i>
Heburu	<i>Ocotea</i>	<i>canaliculata</i>
Ileng	<i>Ocotea</i>	<i>canaliculata</i>
Sassafras orenoque	<i>Ocotea</i>	<i>cymabarum</i>
Tirinkamwi	<i>Ocotea</i>	<i>cymabarum</i>
Cèdre gris	<i>Ocotea</i>	<i>floribunda</i>
Tingui apici	<i>Ocotea</i>	<i>floribunda</i>
Apici	<i>Ocotea</i>	<i>glomerata</i>
Baaka apici	<i>Ocotea</i>	<i>glomerata</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>glomerata</i>
Licano apici	<i>Ocotea</i>	<i>glomerata</i>
Ajoughona	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Ajouva	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Beradie	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Cèdre argent	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Cèdre gris	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Feuille d'argent	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Hohoradikoro	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Joro joro pisie	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Jou-ha-ha	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Kaachi apici	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Shirua	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Shirva	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Tokowe	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Wa-da-krow-yik	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Wai	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Weti apici	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Weti-apici	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Wi	<i>Ocotea</i>	<i>guianensis</i>
Laurel	<i>Ocotea</i>	<i>longifolia</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>nigra</i>
Cèdre noir	<i>Ocotea</i>	<i>nigra</i>
Weti apici	<i>Ocotea</i>	<i>nigra</i>
Apassou oudou	<i>Ocotea</i>	<i>oblonga</i>
Cèdre Calalou de Terre haute	<i>Ocotea</i>	<i>oblonga</i>
Cèdre gris	<i>Ocotea</i>	<i>oblonga</i>
Weti apici	<i>Ocotea</i>	<i>oblonga</i>

ANNEXES

Noms vernaculaires	Genre	Espèces
Bamba apici	<i>Ocotea</i>	<i>pethalantera</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>pethalantera</i>
Baaka apici	<i>Ocotea</i>	<i>schomburgkiana</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>schomburgkiana</i>
Tingui chii apici	<i>Ocotea</i>	<i>schomburgkiana</i>
Ah back yik	<i>Ocotea</i>	<i>sp.</i>
Cèdre	<i>Ocotea</i>	<i>splendens</i>
Cèdre apici	<i>Ocotea</i>	<i>splendens</i>
Cèdre jaune	<i>Ocotea</i>	<i>splendens</i>
Advocaat	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Afkati	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Ap-pack-yik	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Avocado pear	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Avocat	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Avocatier blanc	<i>Persea</i>	<i>americana</i>
Baaka apici	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>grandis</i>
Cèdre cannelle	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>grandis</i>
Cèdre jaune	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>grandis</i>
Gueli apici	<i>Rhodostemonodaphne</i>	<i>grandis</i>
Grignon	<i>Sextonia</i>	<i>rubra</i>
Grignon franc	<i>Sextonia</i>	<i>rubra</i>

Annexe 3. Prescriptions d'observation selon Normand (1972)

VAISSEAUX	Mesurer diamètre tangentiel de 100 vaisseaux / moyenne et écart-type
Taille	
Nombre	Sur une surface de 4 cm ² , faire 10 mesures sur 2 ou 5 mm ²
Groupement	Fréquence des vaisseaux isolés
Ponctuations intervasculaires	25 mesures au milieu de plusieurs éléments de vaisseaux
FIBRES	
Longueur	Mesurer ±150 fibres / moyenne et écart-type
Largeur	Mesurer ±50 fibres / moyenne et écart-type
Coefficient de souplesse	Mesure de la cavité des fibres considérées pour la largeur
RAYONS	
Hauteur	H _{moy} < 15 cellules compter le nombre de cellules sur 100 rayons H _{moy} > 15 cellules mesurer 100 rayons
Largeur	Mesurer ou compter le nombre de cellules pour 100 rayons. Donner le nombre moyen de cellules, l'amplitude de la variation et la proportion d'unisériés.
Nombre	Mesurer 10 fois sur 1 mm, à différents endroits de la préparation / moyenne

Annexe 4. Correspondances classes/critères

VESSELS	Growth Rings (GROWTH_RING)	Growth ring boundaries distinct (1) Growth ring boundaries indistinct or absent (2)
	Vessel arrangement (V_ARR.)	Vessels in diagonal and / or radial pattern (1) No specific pattern (2)
	Vessel groupings (V_GROUPING)	Vessels exclusively solitary (90% or more) (1) Vessel clusters common (2) Vessels in radial multiples of 4 or more common (3)
	Perforation plates (PERF_PLATES)	Simple perforation plates (1) Scalariform perforation plates (2)
	Intervessel pits arrangement and size (PIV_ARR.)	Intervessel pits alternate (1) Shape of alternate pits polygonal (2)
	Intervessel pits size (PIV_SIZE)	Intervessel pits Small - 4 - 7 µm (1) Intervessel pits Medium - 7 - 10 µm (2) Intervessel pits Large - >= 10 µm (3)
	Mean tangential diameter of vessel lumina (V_DIAM)	50 - 100 µm (1) 100 - 200 µm (2) >= 200 µm (3)
	Vessels per square millimetre (V/MM²)	<= 5 vessels per square millimetre (1) 5 - 20 vessels per square millimetre (2) 20 - 40 vessels per square millimetre (3) 40 - 100 vessels per square millimetre (4)
	Tyloses and deposits in vessels (TYLOSES)	Tyloses common (1) Tyloses sclerotic (2) No tyloses (3)
	FIBRES	Septate fibres (F_SEPTATE)	Septate fibres present (1) Non-Septate fibres (2)
Fibre wall thickness (F_WALL)		Fibres very thin-walled (1) Fibres thin- to thick-walled (2) Fibres very thick-walled (3)
Apotracheal axial parenchyme (APO_PAR.)		No apotracheal parenchyme(1) Banded parenchyme in marginal and/or thin bands (2)
AXIAL PARENCHYMA	Axial parenchyme type (AXIAL_PAR)	Axial_parenchyme_scanty_paratracheal_(1) Axial_parenchyme_vasicentric_(2) Axial_parenchyme_aliform_(3)
	Axial parenchyme arrangement (PAR_DISP.)	Confluent (1) Vasicentric (2) No specific arrangement (3)
	Axial parenchyme strand length (#CELL/PAR_STRAND)	Two cells per parenchyme strand (1) Max. Four (3-4) cells per parenchyme strand (2) Max. Eight (5-8) cells per parenchyme strand (3) Over eight cells per parenchyme strand (4)

RAYS	Rays of two distinct sizes (2_SIZE_RAYS)	Rays of two distinct sizes (1) Rays mostly the same size (2)
	Rays width (RAY_WIDTH)	Rays 1-3cells wide (1) Rays more than 3 cells wide (2)
	Ray composition (RAY_COMP)	Body ray cells procumbent with one row of upright and / or square marginal cells (1) Body ray cells procumbent with mostly 2-4 rows of upright and / or square marginal cells (2) Rays with procumbent, square and upright cells mixed throughout the ray (3)
SECRETORY CELLS	Rays per millimetre (RAYS/MM)	<= 4 Rays / mm (1) 4-12 Rays / mm (2)
	Oil and mucilage cells (OIL_MUC_CELLS)	Oil cells associated with ray parenchyme (1) Oil cells associated with axial parenchyme (2) Oil cells present among fibres (3) Oil cells present in every type of cells (4) No oil cells (5)
	Mucilage cells (MUC_CELLS)	Present (1) Absent (2)
	Prismatic crystals (PRISM_CRYSTALS)	Prismatic crystals in upright and / or square ray cells (1) Prismatic crystals in procumbent ray cells (2) Prismatic crystals in fibres (3) No prismatic crystals (4)
	Druses (DRUSES)	Druses present (1) Druses absent (2)
CRYSTAL FEATURES	Other crystal types (CRYSTALS)	Acicular crystals (1) Styloids and / or elongate crystals (2) Crystals of other shapes (mostly small) (3) Silica bodies (4) No crystals (5)
	Specific gravity (GRAVITY)	Basic specific gravity low, <= 0.40 (1) Basic specific gravity medium, 0.40-0.75 (2) Basic specific gravity high, >= 0.75 (3)
OTHER / MACROSCOPIC FEATURES	Heartwood colour diiferenciation (SAP_DIFF.)	Heartwood colour darker than sapwood colour (1) No difference between hardwood and sapwood (2)
	Heartwood colour (HEART_COULOUR)	Heartwood basically brown or shades of red (1) Heartwood basically brown or shades of brown (2) Heartwood basically yellow or shades of yellow (3) Heartwood basically white to grey (4) Heartwood copper (5)
	Odour (ODOUR)	Distinct odour (1) No distinct odour (2)

Annexe 5. *Tableau entier descriptif de l'anatomie des Lauracées¹*

	CRYSTALS	HEART_COULOUR	OIL_CELLS	MUC_CELLS	TYLOSES/DEPOSITS	AXIAL_PAR.	#CELL/PAR._STRAND	APO._PAR.	F_WALL	GRAVITY	PRISM_CRYSTALS	ODOUR	PARA_DISP.	V_GROUPING	RAY_COMP	PIV_ARR.	PIV_SIZE	V_DIAM	GROWTH_RING	V/MM ²	2_SIZE_RAYS	V_ARR.	SAP_DIFF.	PERF._PLATES	RAYS/MM	RAY_WIDTH	DRUSES	
<i>A. affinis</i>	2,5	3	4	2	1	2	2,5	1	2	2	1,5	2	3	2,5	1,5	1	3	2	2	2	2	2	1,5	2	1	2		
<i>A. canellilla</i>	2,5	2,5	1,5	2	1,5	2	2,5	2	3	3	4	1	3	2	1,5	1	2,5	2	1,5	2	2	1	1	1	2	1	2	
<i>A. guianensis</i>	2,5	3	5	2	1	2,5	2,5	1	2	2	2	1	3	2,5	1,5	1	2	1,5	1	2	2	2	2	1,5	2	1	2	
<i>A. hostmanniana</i>	2	2	1,5	2	1	1,5	2,5	1	2	1,5	2	1	3	2	1,5	1	2,5	1,5	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>A. hypoglauca</i>	2,5	3	1,5	2	1	1,5	2,5	1	2	2	2	1	3	2,5	1	2	2,5	1,5	1	2	2	2	2	1,5	2	1	2	
<i>A. panurensis</i> RR-L-115	3	3	1,5	2	1	1,5	2	1	2	2	4	1	3	2	1,5	1	2,5	1,5	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
<i>A. parvijora</i> RR-X-700	3	3	4	2	1	1	2	1	2,5	2,5	4	1	3	1,5	1,5	1	3	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>A. riparia</i>	2,5	2,5	1,5	2	1	3	2,5	2	2	2	2	1	1	2,5	1,5	1	3	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	
<i>A. rosaeodora</i>	2,5	3	4	2	1	1,5	2	1	2	2	4	1	2	2,5	1	2	3	2	1,5	2	2	2	1	1,5	2	1	2	
<i>A. spp.</i>	2,5	3	1,5	2	1	2	2	1,5	2	2	1,5	1	3	1,5	1,5	1	2,5	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	
<i>A. taubertiana</i> RR-L-099	2,5	3	1,5	2	3	2	2,5	1	2	2	2	1	3	2	1,5	1,5	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
<i>A. taubertiana</i> RR-L-123	2,5	3	1,5	2	3	2	2,5	1,5	2	2	2	1	3	2	1,5	1,5	2	1	1,5	2	1	2	1	1	2	1	1	
<i>A. terminalis</i>	2	3	1,5	2	1	2	2,5	1	2	2	2	1	3	2	1,5	1	2,5	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>E. bracteolata</i> RR-L-104	5	3	4	1	1	1,5	2,5	1	2	2	4	2	3	2	0	1	1,5	2	2	2	2	2	1,5	1	2	1	2	
<i>E. endlicheriopsis</i>	3	3,5	4	1	1	1	2,5	1	2	2	4	1	3	2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	1,5	1	2	1	2	
<i>E. lhotzkyi</i>	5	3,5	4	1	1	1,5	2,5	1	2	2	4	2	3	2	1,5	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1,5	2	1	2	
<i>E. multiflora</i>	3	3,5	4	1	1	1,5	2,5	1	2	2	4	1	3	2	1,5	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1,5	2	1	2	
<i>L. campechiana</i>	5	3,5	1,5	2	1	1,5	1,5	1	2,5	2	4	2	3	3	1,5	2	2,5	1	2	3,5	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i>	2	2,5	1,5	2	1,5	2,5	2,5	1	3	2,5	4	1	3	2	1,5	2	2,5	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i> PSN_50	5	2	4	2	1	2	2,5	1	3	2	4	1	1	1,5	1,5	1,5	3	2	1	1,5	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i> RR-L-122	5	2,5	4	2	1	3	3,5	1	3	3	2	1	3	1,5	1,5	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i> RR-X-0094	5	2,5	4	2	1,5	2	3,5	1	3	2,5	4	1	3	1,5	1,5	1,5	3	2	1	1,5	1	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i> RR-X-0220	5	2	4	2	1,5	2	3,5	1	3	3	4	1	3	1	1,5	1	3	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cannella</i> RR-X-1498	5	2,5	1,5	2	1,5	1,5	4	1	2	3	4	1	1	2,5	1,5	1,5	2,5	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. cayennensis</i>	5	2	4	2	1	2	2,5	1	3	3	4	1	3	1	1,5	2	2,5	2	2	1,5	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. chrysophylla</i>	3	3	1,5	2	1	2	2,5	1	2,5	2,5	4	1	3	2	1	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>L. chrysophylla</i>	3	3	4	2	1	2	2,5	1	3	2	4	1	3	2	1	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>L. martiniana</i> RR-L-118	5	2	4	2	1	1,5	3,5	1	2	2	4	1	3	2	1,5	1,5	2,5	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	
<i>L. polyphylla</i>	5	2	4	2	1	1,5	2,5	1	2	2	4	1	3	2	1	1	3	1,5	1	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>L. subbullata</i>	5	2,5	1,5	2	3	2	2,5	2	2,5	2,5	4	1	3	1,5	1	1	2,5	1,5	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>M. itauba</i>	4	2,5	1,5	2	3	2,5	2,5	1	3	2,5	4	2	1,5	2,5	1,5	1	3	2	2	2,5	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>N. ambigens</i>	5	2	1	2	1	2	2,5	1	2	1	4	1	3	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2
<i>N. globosa</i>	5	2,5	1,5	2	3	1,5	2,5	1	1,5	1	4	1	3	1,5	1	2	2,5	2,5	1	2	2	2	1	1,5	2	1,5	2	
<i>N. salicifolia</i>	5	2	2	2	1	1,5	2,5	1	2	1	4	1	3	1,5	1,5	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
<i>O. cinerea</i> RR-X-1737	5	5	1,5	2	1	2	3,5	1	1	2	2,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	3	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	
<i>O. dendrodaphne</i>	5	5	1,5	2	3	2	2	1	2	2	4	2	3	2	1,5	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2
<i>O. guianensis</i>	5	4	1,5	2	3	2	2	1	2	1	4	2	3	1	1,5	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>O. guianensis</i> RR-L-096	5	4	1,5	2	3	2	2,5	1	1	1	4	1	3	1	1	1,5	3	2	1	1,5	2	2	1	1	1	1	1	2
<i>O. guianensis</i> RR-X-330	5	4	1,5	2	1	1	1,5	1	2	1	4	1	3	1	1	1,5	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
<i>O. nigra</i>	2	5	1,5	2	3	2	2	1	2	2	2	1	3	2	1	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>O. oblonga</i>	5	4	1,5	2	1	1	2,5	1	1	1	4	2	3	2	1	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2
<i>O. pauciflora</i> cf RR-L-105	5	4	1,5	2	1	2,5	2,5	1	2	2	1,5	1	3	1,5	1,5	1	3	1,5	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>O. percurrans</i> RR-L-101	5	5	1,5	2	1	2	3,5	1	1	2	4	1	3	2	1,5	1,5	3	2	1,5	2	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>O. percurrans</i> RR-L-106	5	5	1,5	2	1	1	2,5	1	1	2	4	2	3	1,5	1,5	1,5	3	1,5	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>O. petalanthera</i>	5	5	1,5	2	1	2	2,5	1	1,5	1	4	1	3	2	1	1	3	2	1	1,5	2	2	1	1	1	1	1	2
<i>O. puberula</i>	1	1,5	1,5	2	3	1,5	2,5	1	2	1,5	4	2	3	2	1	2	3	2	2	3	2	2	2	1	1	2	2	2
<i>O. schomburgkiana</i>	5	2	1,5	2	3	2	2	1	1,5	2	4	1	3	2	1,5	2	2,5	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>O. splendens</i>	2	5	1,5	2	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1,5	2	2,5	2	2	1,5	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>O. subterminalis</i> RR-L-096	4	2	1,5	2	1	2,5	2,5	1	3	2	4	1	3	2	1,5	1,5	2,5	1,5	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>O. tomentella</i>	5	2	1,5	2	3	1	2	1	2	2	4	2	3	2	1	1	3	2	2	2,5	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>O. tomentella</i> RR-X-1879	5	2	4	2	1	1	2,5	1	3	2	4	2	3	2	1,5	1,5	3	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2
<i>R. grandis</i>	2	5	1,5	2	1	2,5	2,5	1	2	1,5	4	2	3	2	1,5	2	3	2,5	2	1,5	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>R. grandis</i> RR-L-119	2	5	1,5	2	1	2,5	2,5	1	2	2	4	2	3	2	1	1,5	2	1,5	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2
<i>R. grandis</i> RR-X-1815	2	5	1,5	2	1	2,5	2,5	1	2	2	4	2	3	2	1	1,5	2,5	2	2	1,5	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>S. rubra</i>	5	1,5	1,5	2	3	2,5	2,5	1	2	2,5	4	2	1	2	2	2	3	2,5	2	1,5	2	1	1	1	2	1	2	2
<i>S. rubra</i>	5	1,5	2	2	3	2,5	2,5	1	2	2,5	4	2	1	2	2	2	3	2,5	2	1,5	2	2	1	1	2	1	2	2
<i>S. rubra</i>	5	1,5	3	2	3	2,5	2,5	1	2	2,5	4	2	1	2	1	2	3	2,5	2	1,5	2	1	1	1	2	1	2	2

¹ Les valeurs des critères sont explicitées dans le tableau page suivante

Annexe 6. Tableau des critères affinés

Afin de ne pas alourdir le tableau, les critères n'ayant pas subi de changements ne sont pas listés

VESELS	Vessel tangential diameter (V_DIA) < 100 µm (1) 100 to < 120 µm (2) 120 to < 140 µm (3) 140 to < 160 µm (4) >= 160 µm (5)	FIBER	Fiber wall lumina (F_LUM) < 5 µm (1) 5 to < 10 µm (2) 10 to < 15 µm (3) >= 15 µm (4)
	Intervascular pits size (P_SIZE) Pits diam. < 8 µm (1) Pits diam. 8 to < 10 µm (2) Pits diam. 10 to < 11 µm (3) Pits diam. 11 to < 12 µm (4) Pits diam. >12 µm (5)		Fiber wall softness (F_SOFT) < 20% (1) 20-40 % (2) 40-60 % (3) 60-80 % (4) >= 80 % (5)
	Vessels distribution (V/mm²) < 4 /mm ² (1) 4 to < 6 /mm ² (2) 6 to < 8 /mm ² (3) 8 to < 10 /mm ² (4) 10 to < 12 /mm ² (5) >=12 /mm ² (6)		Ray width (RAY_WIDTH) 1-seriate (1) 2-seriate (2) 3-seriate (3) more than 3-seriate (4)
	Vessel element lenght (V_EL) < 200 µm (1) 200 to 300 µm (2) 300 to 400 µm (3) 400 to 500 µm (4) 500 to 600 µm (5) >= 600 µm (6)		Rays highness (RAY_HEIGHT) < 300 µm (1) 300 to 400 µm (2) 400 to 500 µm (3) 500 to 600 µm (4) > = 600 µm (5)
FIBER	Fiber wall thickness (F_WALL) < 2 µm (1) 2 to < 3 µm (2) 3 to < 4 µm (3) 4 to < 5 µm (4) 5 to < 6 µm (5) 6 to < 7 µm (6)	SECRETORY ELEMENTS	Oil cells size (OIL_C_SIZE) Small (coeff. < 0,5) (1) Medium (coeff. Betw. 0,5 and 2) (2) Large (coeff. > 2) (3)
			Oil cells density (OIL_C_DEN) < 5 /mm ² (1) 5 to < 10 /mm ² (2) 10 to < 20 /mm ² (3) 20 to < 30 /mm ² (4) >= 30 /mm ² (5)

Annexe 7. Liste des échantillons récoltés pour les analyses des composés volatils des écorces

N°	Code inv.	Taxon	Lieu de récolte
BR_0288	P01860338	<i>Sextonia rubra</i>	Paracou
BR_0291	P01860211	<i>Sextonia rubra</i>	Paracou
BR_0292	P00610426	<i>Sextonia rubra</i>	Paracou
BR_0293	NL110043	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Nouragues
BR_0294	P01860345	<i>Sextonia rubra</i>	Paracou
BR_0445	NL110193	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Nouragues
BR_0614	NH200094	<i>Ocotea subterminalis</i>	Nouragues
BR_0616	NH200069	<i>Ocotea subterminalis</i>	Nouragues
BR_0617	NH200294	<i>Ocotea subterminalis</i>	Nouragues
BR_0622	P01860393	<i>Ocotea argyrophylla</i>	Paracou
BR_0624	NL110389	<i>Ocotea argyrophylla</i>	Nouragues
BR_0709	P01860188	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	Paracou
BR_0711	P01860518	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	Paracou
BR_0869	NL110348	<i>Ocotea percurrans</i>	Nouragues
BR_0870	NL110562	<i>Ocotea percurrans</i>	Nouragues
BR_0873	M17116119	<i>Sextonia rubra</i>	Montagne Tortue
BR_0874	M17116052	<i>Sextonia rubra</i>	Montagne Tortue
BR_0875	M17116081	<i>Sextonia rubra</i>	Montagne Tortue
BR_1093	M17118921	<i>Aniba panurensis</i>	Montagne Tortue
BR_1097	M17116060	<i>Aniba panurensis</i>	Montagne Tortue
BR_1103	M17116484	<i>Aniba panurensis</i>	Montagne Tortue
BR_1139	M17116430	<i>Licaria cannella</i>	Montagne Tortue
BR_1141	NL110432	<i>Licaria chrysophylla</i>	Nouragues
BR_1143	M17116423	<i>Ocotea cinerea</i>	Montagne Tortue
BR_1148	M17116123	<i>Ocotea tomentella</i>	Montagne Tortue
BR_1150	M17116051	<i>Rhodostemonodaphne praeclara</i>	Montagne Tortue
BR_2430	NL110347	<i>Licaria cannella</i>	Nouragues
BR_2434	NL110406	<i>Licaria cannella</i>	Nouragues
BR_5104	A110059	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	Acarouany
BR_5184	A110207	<i>Sextonia rubra</i>	Acarouany
BR_5228	A110349	<i>Sextonia rubra</i>	Acarouany
BR_5282	A110353	<i>Sextonia rubra</i>	Acarouany
BR_5314	A110286	<i>Sextonia rubra</i>	Acarouany
BR_5320	A110289	<i>Licaria cannella</i>	Acarouany
BR_5332	A110266	<i>Sextonia rubra</i>	Acarouany
BR_5492	B429001	<i>Sextonia rubra</i>	BAFOG
BR_5630	B430058	<i>Sextonia rubra</i>	BAFOG
BR_5658	B435056	<i>Licaria cannella</i>	BAFOG
BR_5756	B438031	<i>Endlicheria melinonnii</i>	BAFOG
BR_5760	B438046	<i>Sextonia rubra</i>	BAFOG
BR_5784	B443004	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	BAFOG
BR_5844	B444061	<i>Licaria cannella</i>	BAFOG
BR_5858	B445045	<i>Endlicheria melinonnii</i>	BAFOG

ANNEXES

N°	Code inv.	Taxon	Lieu de récolte
BR_6088	LV109135	<i>Sextonia rubra</i>	La Villette
BR_6106	LV109151	<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	La Villette
PR017	NH200072	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Nouragues
RR-L-003	PAR6X-899	<i>Ocotea percurrens (Blaka apisi)</i>	Paracou
RR-L-011	PAR10X-1131	<i>Ocotea percurrens (Blaka apisi)</i>	Paracou
RR-L-012	PSE2B-163	<i>Aniba citrifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-013	PSE6G-218	<i>Aniba citrifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-014	PSE6B-44	<i>Aniba hostmanniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-015	PSEIV-339	<i>Aniba hostmanniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-016	PSE10B-184	<i>Aniba parviflora</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-017	PSE1B-262	<i>Aniba parviflora</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-018	PSE2B-35	<i>Aniba parviflora</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-019	PSE5B-218	<i>Aniba parviflora</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-020	PSE1B-223	<i>Aniba terminalis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-021	PSE6H-371	<i>Aniba terminalis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-022	PSE6I-1079	<i>Aniba terminalis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-023	PSE2B-337	<i>Endlicheria melinonnii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-024	6F-260	<i>Endlicheria melinonnii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-025	9B-61	<i>Endlicheria melinonnii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-026	PSE1B-145	<i>Licaria cannella</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-027	PSE6H-323	<i>Licaria cannella</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-028	PSE6H-338	<i>Licaria cannella</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-029		<i>Licaria chrysophylla</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-030		<i>Licaria chrysophylla</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-031	PSE6F-564	<i>Licaria chrysophylla</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-032	PSE8B-300	<i>Licaria guianensis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-033	PSE6G-266	<i>Licaria guianensis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-034	PSE6F-251	<i>Licaria guianensis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-035	PSE6H-401	<i>Licaria guianensis</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-036	PSE1B-235	<i>Licaria martiniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-037	PSE2C-237	<i>Licaria martiniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-038	PSE6J-406	<i>Licaria martiniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-039	PSE6I-1096	<i>Licaria martiniana</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-040	PSE2B-115	<i>Mezilaurus sp. 1</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-041	PSE2B-134	<i>Mezilaurus sp. 1</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-042	PSEIV-55	<i>Mezilaurus sp. 1</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-043	PSEIV-710	<i>Mezilaurus sp. 1</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-044	PSE10B-81	<i>Ocotea argyrophylla</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-045	PSE2B-245	<i>Ocotea argyrophylla</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-046	PSE2B-461	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-047	PSE4B-182	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-048	PSE4B-57	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-049	PSEIV-647	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-050	PSEIV-670	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-051	PSE6G-200	<i>Ocotea ceanothifolia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-052	PSE7BX-209	<i>Ocotea cernua</i>	Piste de Saint-Elie

ANNEXES

N°	Code inv.	Taxon	Lieu de récolte
RR-L-053	PSE6F-721	<i>Ocotea cernua</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-054	PSE6H-77	<i>Ocotea cernua</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-055	PSE6I-971	<i>Ocotea cernua</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-056	PSE1B-479	<i>Ocotea cinerea</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-057	PSE2B-300	<i>Ocotea cinerea</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-058	PSE6BX-245	<i>Ocotea cinerea</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-059	PSE10B-38	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-060	PSE1B-26	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-061	PSE1B-427	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-062	PSE2B-510	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-063	PSEIV-471	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-064	PSEIV-81	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-065	PSE6H-147	<i>Ocotea indirectinervia</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-066	PSE10B-307	<i>Ocotea nigra</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-067	PSE1B-226	<i>Ocotea nigra</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-068	PSE6H-130	<i>Ocotea nigra</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-069	PSE8B-154	<i>Ocotea sp. 12</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-070	PSE7B-488	<i>Ocotea sp. 12</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-071	PSE6G-139	<i>Ocotea sp. 12</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-072	PSE6H-181	<i>Ocotea sp. 12</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-073	PSE10B-488	<i>Ocotea tomentella</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-074	PSE2C-73	<i>Ocotea tomentella</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-076	PSE10B-470	<i>Rhodostemonodaphne morii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-077	PSE4B-68	<i>Rhodostemonodaphne morii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-078	PSE6H-311	<i>Rhodostemonodaphne morii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-079	PSE6I-841	<i>Rhodostemonodaphne morii</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-080	PSE6B-522	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-081	PSEIV-543	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-082	PSE6H-197	<i>Rhodostemonodaphne rufovirgata</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-083	PSE2B-112	<i>Sextonia rubra</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-084	PSE3B-567	<i>Sextonia rubra</i>	Piste de Saint-Elie
RR-L-085	CC2_100208	Licaria sp. A	Carrière RIBAL TP
RR-L-086	CN3_100208	Licaria sp. A	Carrière RIBAL TP
RR-L-087	CG4_100208	<i>Ocotea tomentella</i>	Piste de Bélizon Pk 65
RR-L-088	ONF 5899	<i>Ocotea percurrans</i>	ONF Régina P14
RR-L-089	ONF 4535	Licaria sp. A	ONF Régina P14
RR-L-090	ONF 389	<i>Ocotea percurrans</i>	ONF Régina P14
RR-L-091	ONF 4572	Licaria sp. A	ONF Régina P14
RR-L-092	ONF 4723	<i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i>	ONF Régina P14
RR-L-093	ONF 5960	<i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i>	ONF Régina P14
RR-L-095	R2	<i>Ocotea subterminalis cf.</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-096	R3	<i>Ocotea guianensis</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-099	R6	<i>Aniba taubertiana</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-100	R7	<i>Licaria cannella</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-101	R8	<i>Ocotea percurrans</i>	Carrière RIBAL TP

ANNEXES

N°	Code inv.	Taxon	Lieu de récolte
RR-L-102	R9	<i>Licaria cannella</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-103	R10	<i>Licaria cannella</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-104	R11	<i>Endlicheria bracteolata</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-104	R11	<i>Endlicheria bracteolata</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-105	R12	<i>Ocotea pauciflora</i> cf.	Carrière RIBAL TP
RR-L-106	R13	<i>Ocotea percurrens</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-115	R20	<i>Aniba panurensis</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-118	R22	<i>Licaria martiniana</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-119	R23	<i>Rhodostemonodpahne grandis</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-121	R25	<i>Aniba taubertiana</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-122	R26	<i>Licaria cannella</i>	Carrière RIBAL TP
RR-L-129	R6=R6B	<i>Licaria cannella</i>	p.k. 15, Route de l' est
RR-L-130	Bois muguet	<i>Licaria cannella</i>	p.k. 15, Route de l' est

ANNEXES

Annexe 8. Résultats des évaluations olfactives menées sur les huiles extraites

Espèce	#	Description
	RR-L-085(B)	Difficile à évaluer, peu de produit. Terpénique, poussiéreuse
	RR-L-085(E)	Frais, herbacée, thymolée-mentholée. Note de terpène résineuse et tenace. Note de fond: cinnamaldéhyde, amer.
	RR-L-086(B)	Boisée, eugénol frais (cabinet de médecin), douce
	RR-L-086(E)	Douce mais enrobante. Note boisée-florale, légèrement camphrée, pinée et lavandée
<i>Ocotea tomentella</i>	RR-L-087(B)	Frais-vert mais terreux. Note de cœur: boisée légère
	RR-L-088(E)	Intense en note boisée, terpénée. Légère note de linalol, lavande, fleurs d'encens. Tenace et chaude.
	RR-L-089(E)	Herbacée, légumineuse douce non cuite, légère note de fleurs d'encens
<i>Ocotea percurrans</i>	RR-L-090(E)	Verte, très douce, note herbacée arrive discrètement en note de cœur
	RR-L-091(E)	Herbacée poussiéreuse, note fraîche et douce de nonanal/nonadienol: concombre violette (très doux)
<i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i>	RR-L-092(E)	Même que RR-L-093(E) mais plus imposante
<i>Rhodostemonodaphne elephantopus</i>	RR-L-093(E)	Note très discrète, verte mais très peu herbacée. Un peu astringent, note légère d'eugénol très poussiéreuse
	RR-L-095(B)	Boisée, terreuse, un peu acide comme de la vinasse, caryophyllée, non terpénique
	RR-L-095(B)	Boisée, terreuse, un peu acide comme de la vinasse (acide phénytylique)
	RR-L-095(E)	Boisée, herbeuse de légumes cuits. Baume céleste. Non-terreux.
	RR-L-097(B)	Très forte. Note boisée terreuse, très douce, caryophyllène. Ressemble à RR-L-097(E)
	RR-L-097(E)	Très différente des autres. Note citralée-vétiver, astringente, savonneuse: agrumes basique tenace
	RR-L-097(E)	Note boisée terreuse, très douce, caryophyllène. Ressemble à RR-L-099(B).
<i>Aniba taubertiana</i>	RR-L-099(B)	Note boisée terreuse, très douce, caryophyllène
<i>Ocotea percurrans</i>	RR-L-101(E)	Futile en tête et en fond, très volatile. Herbacée limite agrumes-légumes
<i>Ocotea percurrans</i>	RR-L-101(B)	Boisée gênante à mon goût. Eugénol, terreux, caryophyllène.
<i>Endlicheria bracteolata</i>	RR-L-104(B)	Note savonnée, astringente. Bain moussant à la lavande. Note très volatile. Note de fond: citronnelle cuite

ANNEXES

Espèce	#	Description
<i>Endlicheria bracteolata</i>	RR-L-104(E)	Note de tête quasiment absente. Note de cœur enrobante, douce, bain moussant à la lavande, linalol très agréable, orientale
<i>Ocotea pauciflora cf.</i>	RR-L-105(B)	Odeur poussiéreuse, vieux meubles renfermés. Note de cœur boisée (arrive en 2ème)
<i>Ocotea pauciflora cf.</i>	RR-L-105(B)	Boisée agréable, forte. Note de fond légèrement florale.
<i>Ocotea pauciflora cf.</i>	RR-L-105(E)	Boisée, florale. Note de cœur linalolée, douce, légèrement terpénée
<i>Ocotea guianensis</i>	RR-L-106(B)	Boisée délicate, un peu verte
<i>Ocotea guianensis</i>	RR-L-106(E)	Boisée tenace, très caryophyllène, sec et poussiéreux, terreuse
	RR-L-107(E)	Note boisée terreuse, très douce, caryophyllène. Un peu plus lavandée sur la note de fond. Ressemble à RR-L-097(E).
	RR-L-113(B)	Boisée léger. Poussiéreux herbacée.
	RR-L-113(E)	Boisée, balsamique. Légère note de cinnamaldéhyde (amande amère). Caryophyllène, terreuse.
	RR-L-114(B)	N.E. pas assez de produit. Evaluation au flacon. Herbacée, légumes cuits, baume céleste
	RR-L-114(E)	Herbacée alcoolique, légère-fraîche, baume céleste dilué
<i>Aniba panurensis</i>	RR-L-115(B)	Balsamique, cinnamaldéhyde, acétate de benzyle, amande amère. Très ressemblante au bois rouge (<i>Humiria balsamifera</i>). Note de tête puissante. Ressemble à RR-L-115(E).
<i>Aniba panurensis</i>	RR-L-115(E)	Balsamique, cinnamaldéhyde, acétate de benzyle, amande amère. Très ressemblante au bois rouge (<i>Humiria balsamifera</i>)
	RR-L-117(E)	Surprenante, note fruitée sucrée. Acétate de benzyle avec sirop de poire.
<i>Licaria martiniana</i>	RR-L-118(B)	Herbacée. Différente, cuite en note de tête, se rapproche de RR-L-118(E) en note de cœur avec une note de cœur moins menthe piquée.
<i>Licaria martiniana</i>	RR-L-118(E)	Herbacée terpénique, très fraîche, menthe poivrée.
<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>	RR-L-119(B)	Boisée, herbeuse, légèrement citronnée, douce.
	RR-L-120(B)	Boisée puissante avec une note florale dans la poussière.
<i>Aniba taubertiana</i>	RR-L-121(B)	Boisée balsamique, cinnamaldéhyde.
<i>Licaria cannella</i>	RR-L-122(B)	Boisée orientale, note de lavande et citral. Puissante.
<i>Licaria cannella</i>	RR-L-122(B)	Boisée, lavandée, citronnée.
<i>Licaria cannella</i>	RR-L-122(E)	Note boisée orientale. Note de tête très puissante.
	RR-L-123 (B)	Difficile à évaluer peu de produit. Boisée, terreuse.

Annexe 9. Tableaux comparatifs des proportions des 10 à 15 composés majoritaires des huiles essentielles extraites du bois et de l'écorce

En gras, figurent les molécules communes aux deux huiles étudiées. Les molécules désignées par des lettres sont des molécules non-identifiées. Une case vide ne veut pas dire que la molécule n'est pas présente dans l'huile mais cela signifie que cette molécule ne fait pas partie des composés majoritaires.

<i>Ocotea percurrans</i>			RR-L-097		
	BOIS	ECORCE		BOIS	ECORCE
(E)-cadina-1,4-diene	6,1%		(E,E)- α -farnesene	3,4%	2,7%
1-epi-cubenol	8,1%	5,4%	1-eicosene	1,5%	
A		1,8%	1-epi-cubenol	1,1%	2,9%
alloaromadendrene	1,6%		benzyl benzoate	47,0%	3,6%
aromadendrene		2,1%	calamenene	1,6%	1,9%
bicyclogermacrene		3,5%	epi-globulol		4,1%
calacorene	2,7%	2,1%	epi- α -muurolol	1,3%	
calamenene	11,8%	6,5%	L		1,2%
caryophyllene oxide		2,4%	limonene	12,2%	34,2%
cubenol	3,9%	3,7%	R	1,8%	
epizonarene?	2,2%		sabinene		3,0%
gleenol	4,4%		undecanone	5,5%	
J	1,7%		α -cadinol	0,8%	6,4%
NI1	3,5%		α -muurolene		1,8%
spathulenol	1,8%	5,3%	α -muurolol	0,8%	2,7%
valencene	2,6%	3,2%	α -pinene	1,8%	4,5%
viridiflorol		2,4%	α -selinene	1,2%	
α -cadinol		2,5%	β -selinene	1,2%	
α -copaene	3,6%	3,2%	γ -cadinene		2,1%
α -cubebene	5,7%	9,4%	δ -cadinene	3,0%	3,8%
α -humulene		1,9%	δ -3-carene	1,8%	
δ -cadinene	20,4%	10,8%	TOTAL	86,0%	75,1%
TOTAL	80,2%	66,3%			

<i>Aniba panurensis</i>		
	BOIS	ECORCE
1-epi-cubenol	2,3%	1,2%
benzaldehyde	5,0%	1,6%
benzyl benzoate	73,9%	39,8%
calamenene	1,5%	0,7%
cubenol		0,6%
gleenol	0,4%	
isoelemicin		0,6%
limonene	1,8%	0,6%
NI1	0,5%	
P		37,7%
p-cymene	0,6%	
terpinolene	1,8%	
α -cadinol	1,0%	
α -copaene	1,1%	0,5%
α -cubebene	2,4%	1,0%
α -humulene	0,4%	
α -muurolol	1,0%	
β -caryophyllene	0,6%	
β -terpinolene		0,7%
δ -cadinene	3,1%	1,5%
TOTAL	97,3%	86,4%

<i>Ocotea pauciflora cf.</i>		
	BOIS	ECORCE
4,5-di-epi-aristolochene		2,2%
cadalene	5,4%	
calamenene	3,7%	3,8%
camphre	2,7%	
cyperene	2,1%	2,9%
cyperotundone	2,3%	1,9%
G		3,8%
H	4,7%	4,2%
M		2,1%
rotundene		2,0%
α -cadinol	10,4%	7,2%
α -humulene		1,7%
α -muurolol	2,4%	
α -selinene	4,4%	14,1%
β -selinene		18,6%
δ -cadinene	3,5%	2,8%
δ -selinene	19,4%	
TOTAL	61,1%	67,5%

ANNEXES

RR-L-086		
	BOIS	ECORCE
(E)-cadina-1,4-diene	3,9%	
1-epi-cubenol	6,6%	3,1%
A		2,1%
α -cadinol	2,9%	5,1%
α -copaene	4,1%	
α -cubebene	2,7%	2,6%
α -muurolene	5,2%	
α -selinene		4,0%
ar-curcumene	5,0%	
β -curcumene	3,0%	
β -elemene		13,2%
β -selinene		5,5%
calacorene		2,0%
calamenene	7,6%	3,6%
caryophyllene oxide	2,2%	3,9%
cubenol	2,9%	
δ -cadinene	17,7%	3,9%
elemol		2,4%
epi- α -muurolol	2,2%	
epi- β -bisabolol	6,1%	2,2%
epizonarene	4,3%	
N	3,3%	
spathulenol		2,3%
TOTAL	79,6%	55,9%

RR-L-122		
	BOIS	ECORCE
(Z)-carveol	1,9%	
1-epi-cubenol	2,6%	2,4%
a-terpineol	1,9%	
apiole	1,5%	
benzyl benzoate	1,6%	5,5%
cadalene		1,3%
calamenene	1,5%	1,4%
caryophyllene oxide	1,2%	
dill apiol	39,3%	
elemicin	4,8%	
epi- α -muurolol	9,0%	9,6%
epi- β -bisabolol	1,7%	
limonene		8,5%
methyleugenol	1,1%	
p-cymene		5,8%
sabinene		3,6%
terpinen-4-ol	6,7%	9,9%
α -cadinol	10,6%	11,5%
α -copaene		2,9%
α -cubebene		2,3%
α -muurolene		1,3%
α -muurolol		9,6%
α -pinene		3,1%
δ -cadinene	3,2%	4,0%
TOTAL	88,7%	82,8%

ANNEXES

<i>Ocotea subterminalis</i> cf.		
	BOIS	ECORCE
(E)-cadina-1(6),4-diene	4,4%	
1-epi-cubenol	2,4%	
1,10-di-epi-cubenol		2,2%
amorpha-4,7(11)-diene	2,2%	
benzyl benzoate	4,0%	
C		1,8%
cadalene		2,9%
calamenene	4,9%	
caryophyllene oxide		7,8%
E	3,8%	
epi-globulol		1,8%
epi- α -muurolol	10,2%	
humulene epoxide II		2,8%
spathulenol		9,1%
viridiflorol		9,5%
α -cadinol		3,7%
α -copaene	3,3%	
α -cubebene	4,3%	
α -humulene	2,2%	
α -muurolene	7,3%	1,7%
α -muurolol	24,5%	14,8%
β -caryophyllene	3,1%	
β -cubebene		0,8%
β -elemene		0,8%
β -selinene		2,3%
γ -cadinene	6,4%	4,6%
γ -muurolene		1,6%
δ -cadinene	10,3%	
TOTAL	93,1%	68,4%

<i>Endlicheria bracteolata</i>		
	BOIS	ECORCE
(E)-cadina-1,4-diene	6,0%	
(E)-verbenol		1,8%
(Z)-pinocarveol		3,3%
1-epi-cubenol	8,0%	
R	5,1%	
alloaromadendrene		0,7%
calacorene	2,3%	
calamenene	10,4%	
camphene		2,3%
cubenol	8,6%	
epi- α -muurolol	4,9%	
G		3,2%
gleenol	3,0%	
limonene		2,1%
myrtenal		5,7%
NI1	2,3%	
sabinene		8,7%
selina-4,11-diene		0,7%
spathulenol	2,1%	
valencene	2,4%	
verbenone		1,9%
α -campholenal		1,9%
α -copaene	2,9%	
α -cubebene	4,7%	
α -pinene		17,4%
α -selinene		3,0%
β -caryophyllene	1,8%	
β -selinene		6,5%
δ -cadinene	19,7%	2,0%
TOTAL	84,2%	61,2%

Annexe 10. Tableaux comparatifs des proportions des 10 à 15 composés majoritaires de l'huile extraite du bois et du bouquet floral dégagé par l'écorce

En gras, figurent les molécules communes aux deux huiles étudiées. Les molécules désignées par des lettres sont des molécules non-identifiées. Une case vide ne veut pas dire que la molécule n'est pas présente dans l'huile mais cela signifie que cette molécule ne fait pas partie des composés majoritaires.

<i>Aniba panurensis</i>			<i>Licaria martiniana</i>		
	SPME	BOIS		SPME	BOIS
1-epi-cubenol		2,3%	(E)-cadinol		26,8%
benzaldehyde		5,0%	(E)- α -bergamotene	1,9%	
benzyl alcohol	13,5%		1-epi-cubenol		2,0%
benzyl benzoate		73,9%	1,8-cineole	4,5%	
calamenene	2,0%	1,5%	calamenene	1,9%	2,1%
gleenol		0,4%	caryophyllene oxide		1,5%
limonene	8,7%	1,8%	epi- α -muurolol		17,7%
NI1	1,0%	0,5%	germacreneD	2,2%	
p-cymene	7,0%	0,6%	limonene	17,3%	
sabinene	1,5%		p-cymene	14,2%	
terpinolene		1,8%	α -cadinol		
α -cadinol		1,0%	α -copaene	5,1%	3,9%
α -copaene	3,7%	1,1%	α -cubebene	7,4%	1,9%
α -cubebene	10,0%	2,4%	α -humulene	1,9%	3,0%
α -humulene	0,5%	0,4%	α -muurolene	1,5%	3,3%
α -muurolol		1,0%	α -muurolol		8,0%
α -phellandrene	3,9%		α -phellandrene	5,5%	
α -pinene	3,4%		α -pinene	5,1%	
β -caryophyllene	1,1%	0,6%	β -caryophyllene	10,2%	4,9%
β -cubebene	0,6%		β -elemene		1,9%
β -terpinolene	1,3%		β -pinene	2,7%	
δ -cadinene	4,8%	3,1%	γ -cadinene		3,4%
TOTAL	63,0%	97,3%	δ -cadinene	3,8%	10,1%
			TOTAL	85,2%	91,8%

ANNEXES

<i>Ocotea percurrans</i> (L-101)		
	SPME	BOIS
(E)-cadina-1,4-diene	1,5%	6,1%
1-epi-cubenol		8,1%
alloaromadendrene		1,6%
aromadendrene	3,2%	
bicyclogermacrene	1,6%	
calacorene		2,7%
calamenene	2,2%	11,8%
cubenol		3,9%
cyperene	2,7%	
epizonarene		2,2%
gleenol		4,4%
J		1,7%
limonene	3,6%	
NI1		3,5%
p-cymene	2,2%	
spathulenol		1,8%
valencene	1,7%	2,6%
α -copaene	10,7%	3,6%
α -cubebene	42,3%	5,7%
α -humulene	1,6%	
β -cubebene	3,8%	
β -elemene	3,8%	
γ -muurolene	1,5%	
δ -cadinene	5,4%	20,4%
TOTAL	87,9%	80,2%

RR-L-113		
	SPME	BOIS
(E)-cadina-1,4-diene		4,2%
(E)-cadina-1(6),4-diene		2,5%
1-epi-cubenol		5,6%
alloaromadendrene	1,6%	
aromadendrene	3,8%	
bicyclogermacrene	12,2%	
calacorene		8,5%
calamenene	2,0%	11,1%
cubenol		5,2%
cyperene	0,8%	
germacreneD	1,8%	
gleenol		2,3%
limonene	2,6%	
p-cymene	3,1%	
R		8,7%
valencene	4,2%	2,3%
α -cadinol		4,4%
α -copaene	19,1%	5,5%
α -cubebene	20,7%	2,8%
α -gurjunene	0,8%	
α -humulene	2,5%	1,8%
α -muurolene		1,8%
β -caryophyllene	2,9%	
β -cubebene	1,8%	
β -elemene	1,8%	
δ -cadinene	6,6%	17,1%
TOTAL	87,9%	83,8%

ANNEXES

RR-L-117		
	SPME	BOIS
(E,E)- α -farnesene		3,5%
(E)-cadina-1(6),4-diene		1,9%
1-epi-cubenol		3,6%
aromadendrene	3,7%	
calamenene	4,5%	9,1%
cubenol		2,9%
gleenol		2,0%
J		2,1%
limonene	4,6%	
p-cymene	5,3%	
spathulenol		2,8%
valencene	2,2%	
α -copaene	35,3%	11,4%
α -cubebene	9,0%	
α -humulene		2,1%
α -muurolene	2,5%	
α -pinene	2,5%	
α -selinene		6,9%
α -ylangene	4,6%	
β -caryophyllene	2,5%	3,8%
β -cubebene	2,7%	
β -elemene	2,7%	2,1%
β -selinene		2,8%
γ -muurolene	4,0%	
δ -cadinene	6,5%	10,7%
δ -elemene	4,0%	
TOTAL	96,6%	67,7%

<i>Aniba taubertiana</i> (L-121)		
	SPME	BOIS
1-epi-cubenol		2,8%
benzaldehyde		2,5%
benzyl benzoate		69,5%
calamenene		4,5%
camphene	1,9%	
cubenol		2,7%
dill apiol		1,1%
gleenol		1,0%
limonene	11,5%	
muurola-4(14),5-diene	0,7%	
p-cymene	9,4%	
sabinene	2,1%	
spathulenol		0,8%
α -cadinol		2,8%
α -copaene	4,7%	1,6%
α -cubebene	9,2%	
α -guaiene	0,9%	
α -humulene	2,9%	0,6%
α -muurolene		2,1%
α -pinene	5,2%	
α -selinene	1,2%	
β -caryophyllene	44,5%	1,2%
β -cubebene	1,0%	
β -elemene	1,0%	
γ -cadinene		0,7%
δ -cadinene	1,1%	5,0%
TOTAL	97,4%	98,8%

ANNEXES

<i>Ocotea pauciflora</i> cf.		
	SPME	BOIS
7-epi- α -selinene	3,5%	
cadalene		5,4%
calamenene		3,7%
camphre		2,7%
cyperene	5,9%	2,1%
cyperotundone		2,3%
H		4,7%
limonene	9,0%	
M57	2,8%	
p-cymene	6,0%	
rotundene	3,0%	
α -cadinol		10,4%
α -copaene	3,4%	
α -humulene	2,0%	
α -muurolol		2,4%
α -phellandrene	4,1%	
α -pinene	4,1%	
α -selinene	11,2%	4,4%
β -pinene	2,3%	
β -selinene	3,8%	
δ -cadinene	2,0%	3,5%
δ -selinene	17,4%	19,4%
TOTAL	80,7%	61,1%

<i>Ocotea percurrens</i> (L-106)		
	SPME	BOIS
(E)-cadin-1,4-diene		5,3%
(E)- α -bergamotene	3,0%	
(E)- β -farnesene	4,0%	
1-epi-cubenol		7,7%
ar-curcumene		3,6%
bicyclogermacrene	2,1%	
calamenene		12,0%
cubenol		3,8%
epi- β -bisabolol		3,7%
epizonarene?		3,0%
germacreneD	3,0%	
gleenol		2,9%
limonene	1,6%	
NI1		2,4%
valencene		2,5%
α -copaene	13,0%	2,7%
α -cubebene	30,3%	2,8%
α -funebrene	1,8%	
α -humulene	2,4%	2,0%
α -muurolene		2,1%
β -caryophyllene	9,7%	
β -cubebene	3,8%	
β -curcumene	1,9%	
β -elemene	3,8%	
γ -muurolene	1,7%	
δ -cadinene	3,6%	21,0%
TOTAL	85,8%	77,4%

ANNEXES

RR-L-097		
	SPME	BOIS
(E,E)- α -farnesene	17,8%	3,4%
(E)- α -bergamotene	2,3%	
(E)- β -farnesene	2,2%	
1-eicosene		1,5%
1-epi-cubenol		1,1%
benzyl benzoate		47,0%
calamenene	5,9%	1,6%
epi- α -muurolol		1,3%
germacrened	2,4%	
limonene	9,4%	12,2%
muurolo-4(14),5-diene	3,2%	
p-cymene	2,1%	
R		1,8%
undecanone		5,5%
α -cadinol		0,8%
α -copaene	2,3%	
α -cubebene	4,7%	
α -muurolene	3,5%	
α -muurolol		0,8%
α -pinene		1,8%
α -selinene		1,2%
β -caryophyllene	2,3%	
β -selinene		1,2%
γ -cadinene	5,2%	
δ -cadinene	11,0%	3,0%
δ -3-carene		1,8%
TOTAL	74,3%	86,0%

<i>Endlicheria bracteolata</i>		
	SPME	BOIS
(E)-cadin-1,4-diene		6,0%
1-epi-cubenol		8,0%
91 (100); 147 (75)		5,1%
calacorene		2,3%
calamenene		10,4%
camphene	2,5%	
cubenol		8,6%
epi- α -muurolol		4,9%
gleenol		3,0%
limonene	12,0%	
NI1		2,3%
p-cymene	10,2%	
pinocarvone	1,3%	
sabinene	17,5%	
selina-4,11-diene	1,6%	
spathulenol		2,1%
valencene		2,4%
α -copaene	2,7%	2,9%
α -cubebene	3,8%	4,7%
α -humulene	1,3%	
α -phellandrene	1,0%	
α -pinene	23,3%	
α -selinene	5,6%	
β -caryophyllene		1,8%
δ -cadinene	0,9%	19,7%
δ -selinene	7,8%	
TOTAL	91,5%	84,2%

ANNEXES

<i>Ocotea subterminalis</i> cf.		
	SPME	BOIS
(E,E)- α -farnesene	1,0%	
(E)-cadina-1(6),4-diene		4,4%
(E)- β -ocimene	18,0%	
1-epi-cubenol		2,4%
amorpha-4,7(11)-diene		2,2%
benzyl benzoate		4,0%
calamenene		4,9%
camphene	0,9%	
E		3,8%
epi- α -muurolol		10,2%
limonene	18,0%	
p-cymene	7,9%	
sabinene	1,1%	
tricyclene	1,4%	
α -copaene	2,3%	3,3%
α -cubebene	4,2%	4,3%
α -humulene		2,2%
α -muurolene		7,3%
α -muurolol		24,5%
α -phellandrene	10,1%	
α -pinene	8,6%	
β -caryophyllene		3,1%
β -myrcene	1,1%	
β -pinene	3,1%	
γ -cadinene		6,4%
γ -terpinene	18,0%	
δ -cadinene	1,7%	10,3%
TOTAL	97,4%	93,1%

<i>Rhodostemonodaphne grandis</i>		
	SPME	BOIS
1-epi-cubenol		2,0%
1,8-cineole	4,3%	
calamenene		1,9%
camphene	2,9%	
epi- α -muurolol		16,1%
germacrened		1,4%
limonene	23,0%	
p-cymene	18,0%	
sabinene	1,2%	
tricyclene	1,5%	
α -cadinol		27,5%
α -copaene	3,7%	3,4%
α -cubebene	5,9%	1,9%
α -humulene		2,8%
α -muurolene		3,0%
α -muurolol		8,5%
α -phellandrene	11,6%	
α -pinene	9,7%	
α -selinene	1,8%	
β -caryophyllene		5,1%
β -elemene		1,5%
β -myrcene	1,3%	
β -pinene	4,5%	
γ -cadinene		2,8%
γ -muurolene		1,3%
δ -cadinene	1,4%	10,8%
δ -selinene	2,3%	
TOTAL	93,0%	89,9%

ANNEXES

RR-L-120		
	SPME	BOIS
(E)- α -bergamotene	1,1%	
1-epi-cubenol		0,8%
1,8-cineole	9,1%	
6-methoxy-elemicin		1,9%
a-terpineol		1,2%
apiole		0,8%
benzaldehyde	2,2%	
benzyl benzoate		2,5%
calamenene		1,1%
dill apiol		60,9%
elemicin		10,6%
epi- β -bisabolol		1,0%
limonene	14,6%	2,8%
p-cymene	15,8%	2,5%
sabinene	3,0%	
terpinen-4-ol		7,6%
α -cadinol		3,0%
α -copaene	5,5%	
α -cubebene	9,4%	
α -muurolol		2,5%
α -phellandrene	5,2%	
α -pinene	4,4%	
α -ylangene	1,1%	
β -caryophyllene	1,4%	
β -terpinolene	1,2%	
δ -cadinene	1,7%	0,8%
TOTAL	75,8%	100,0%

RR-L-123		
	SPME	BOIS
(E)- α -bergamotene	2,5%	
(E)- β -farnesene	2,3%	
1-epi-cubenol		1,5%
149 (100)		2,5%
benzyl benzoate		19,8%
bicyclogermacrene	2,0%	
cadalene		1,2%
calamenene	1,7%	1,5%
dill apiol		21,6%
elemicin		2,5%
elemol		1,4%
K		5,8%
limonene	19,6%	
N		7,3%
p-cymene	15,6%	
sabinene	2,3%	
terpinen-4-ol		2,9%
α -cadinol		13,1%
α -copaene	8,1%	
α -cubebene	13,1%	
α -phellandrene	3,3%	
α -pinene	3,7%	
β -caryophyllene	2,0%	
β -cubebene	1,1%	
β -elemene	1,1%	
δ -cadinene	2,5%	1,8%
TOTAL	80,9%	82,9%

<i>Aniba taubertiana</i> (L-099)		
	SPME	BOIS
(E)-9-epi-14-hydroxycaryophyllene		2,5%
(Z)- α -bisabolene		1,1%
1-epi-cubenol		2,0%
1,8-cineole	8,6%	
A		2,1%
benzyl benzoate		52,1%
calamenene		1,7%
caryophylla-4(12),8(13)-dien-5- α -ol		1,2%
caryophyllene oxide		2,3%
D		1,5%
humulene epoxide II		1,5%
J		2,5%
limonene	17,7%	
p-cymene	14,3%	
spathulenol		2,2%
tricyclene	1,0%	
α -cadinol		4,8%
α -copaene	7,9%	
α -cubebene	11,7%	
α -funebrene	1,2%	
α -guaiene	1,1%	
α -humulene	1,4%	
α -muurolol		3,1%
α -phellandrene	9,9%	
α -pinene	6,5%	
β -caryophyllene	4,7%	1,5%
β -cubebene	1,6%	
β -pinene	3,5%	
δ -cadinene	2,0%	2,8%
TOTAL	93,3%	84,9%

Résumé

Face aux difficultés d'identification des arbres de la famille des Lauracées et dans un but d'établissement d'une production durable et certifiée d'huiles essentielles, l'entreprise KLR a voulu mettre en place un nouvel outil d'identification multi-critères qui consiste à croiser plusieurs types de caractères afin d'obtenir une détermination taxonomique fiable. J'ai travaillé sur 50 espèces appartenant à 8 genres de Lauracés de Guyane française. Trois méthodes d'identification ont été utilisées : la chimie (analyse de l'odeur de l'écorce), le code barre génétique et l'anatomie du bois. Une analyse par positionnement multidimensionnel non-métrique a permis de faire un tri des critères anatomiques du bois pertinents dans l'identification des Lauracées étudiées, au final 14 critères ont été retenus. D'après les données anatomiques dont nous disposons, nous proposons une clé de détermination au genre. En génétique, la technique de code barres de la région chloroplastique intergénique *trnH-psbA* a été appliquée aux individus récoltés. En comparant les séquences de tous les individus, 40% des individus peuvent être identifiés au genre car ils présentent des haplotypes uniques. Des haplotypes au sein des genres ont été déterminés et permettent d'identifier l'espèce pour 40 à 100 % des individus selon le genre. L'analyse SPME de l'odeur des écorces a permis de définir pour chaque espèce une carte d'identité chimique à partir des molécules majoritaires. Des chémotypes ont été définis au sein des espèces *Licaria cannella*, *Ocotea indirectinervia* et *Sextonia rubra*. Ces trois domaines d'observation ont permis de constituer une base de type Xper² pour l'identification.

Un criblage des essences intéressantes de par leur rendement en huile essentielle a été effectué. En ce qui concerne la partie extraction de l'huile essentielle, trois espèces montrent un rendement en huile essentielle de l'écorce supérieur à 0,3% et 5 espèces montrent un rendement en huile essentielle du bois supérieur à 0,3%. Les évaluations olfactives menées par un expert ont permis de séparer les huiles distillées en 5 différentes notes. Nous avons jugé intéressant de savoir si l'outil d'identification multicritère pouvait prédire les compositions et rendements en huile essentielle de l'espèce identifiée avant l'abattage de l'arbre. Des études complémentaires ont donc été menées. Pour plus de la moitié des arbres, la signature de l'écorce, la composition de l'huile essentielle de l'écorce et la composition de l'huile essentielle du bois sont similaires. La tentative d'établir un lien entre les caractéristiques des cellules à huile et le rendement s'est avérée infructueuse.

Mots clés : identification, valorisation, lauracées, anatomie du bois, barcoding, SPME, huiles essentielles, Guyane française

Abstract

In order to develop a sustainable production of certified essential oils extracts, the company KLR has struggled with the identification of the trees from the family of Lauraceae. This is the main reason that led to the project of creating an identification tool for this family.

This tool would be based on three approaches: chemistry (chemical signature of the bark), wood anatomy and genetic barcoding. By means of a non-metric multidimensional scaling analysis, we selected a list of 14 relevant wood anatomical features that can identify the trees to the genera. For the genetics, the barcoding of *trnH-psbA* an intergenic region of the DNA has been used. When comparing all the sequences from all the individuals, 40% of the individuals can be identified to the genera because of their specific haplotype. Haplotypes within the genera have also been established. Chemical identity cards have been set with the SPME analysis technique and chemotypes have been defined inside the species *Licaria cannella*, *Ocotea indirectinervia* and *Sextonia rubra*. These three identification approaches allowed us to construct an identification tool on Xper².

During the study, we aimed to screen what species would be interesting for its essential oil yield. Three species showed an essential oil bark yield above 0.3%. Five species showed an essential oil wood yield above 0.3%. An expert held an olfactory evaluation on the oils and divided the essential oils in five olfactory groups. We found it relevant to improve the identification tool by trying to predict the compositions of the oils before the tree was cut down. In the case of the half of trees studied by SPME analyses, the composition of the wood and the bark essential oils were similar. On the other hand, no link was found between the oil cells dimensions and the essential oil yield.

Keywords: identification, oil production, Lauraceae, wood anatomy, barcoding, SPME, essential oils, French Guiana

