



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
D'ANTANANARIVO  
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR EN GENIE CHIMIQUE**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'HUILE  
ESSENTIELLE DE GINGEMBRE EN VUE D'UNE  
MEILLEURE EXPLOITATION**



Présenté par

*Andriatsihoarana Sitraka Mbolanirina*

Soutenu le 27 Septembre 2010

PROMOTION 2009

« HASIMBOLA »



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE  
D'ANTANANARIVO  
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR EN GENIE CHIMIQUE**

**« CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'HUILE ESSENTIELLE  
DE GINGEMBRE EN VUE D'UNE MEILLEURE  
EXPLOITATION »**

Presenté par

*Andriatsihoarana Sitraka Mbolanirina*

***Membres du jury***

Président : M. ANDRIANARY Philippe Antoine, Professeur

Rapporteur : M. RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné, Maître de Conférences

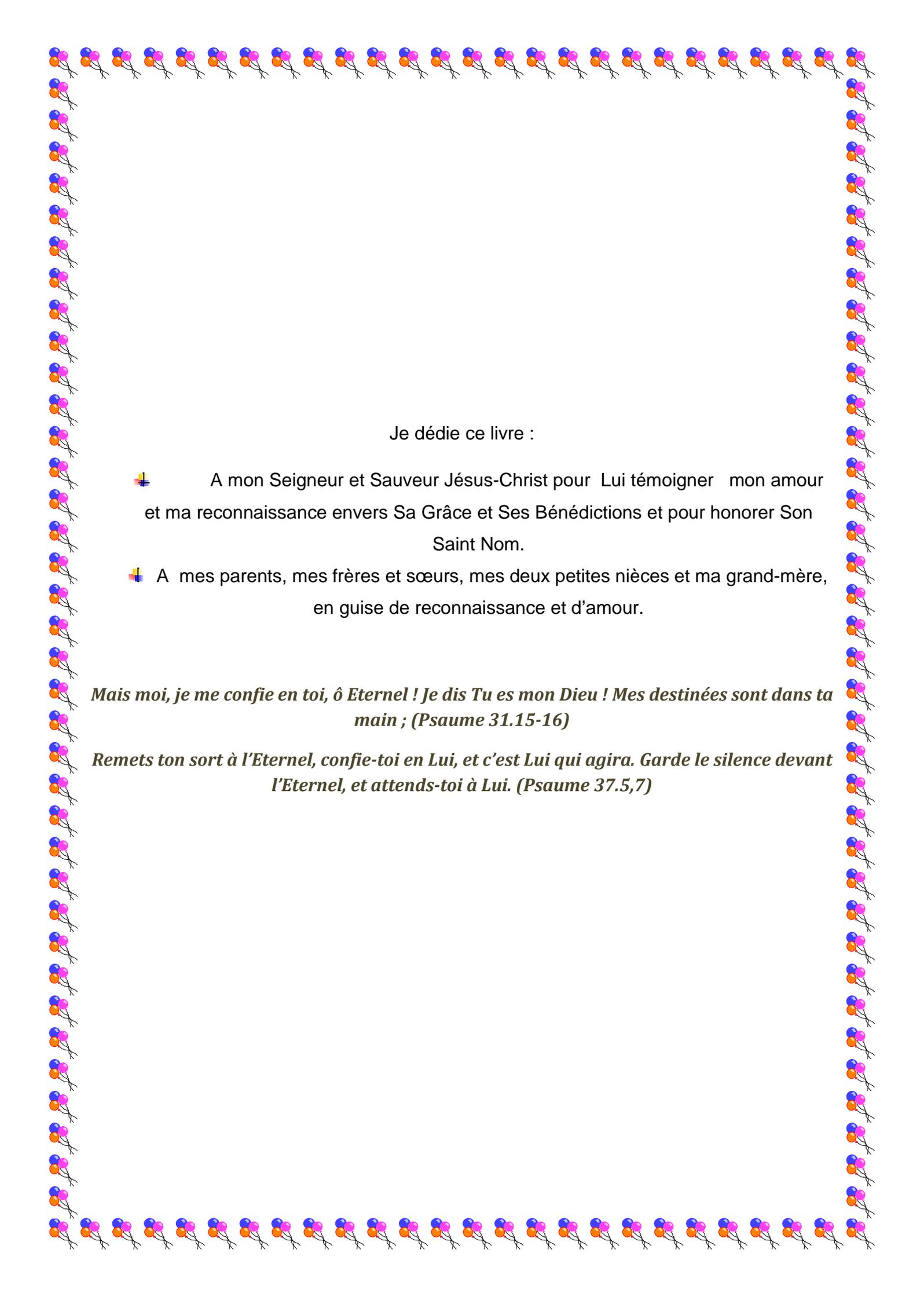
Encadreur : M. RAZAFIMANDEFITRA André, Enseignant chercheur

Examineurs : Mme. RASOLONDRAMANITRA V. Jocelyne, Professeur titulaire

: M. ANDRIANARISON Edouard, Maître de Conférences

PROMOTION 2009

« HASIMBOLA »



Je dédie ce livre :

✚ A mon Seigneur et Sauveur Jésus-Christ pour Lui témoigner mon amour et ma reconnaissance envers Sa Grâce et Ses Bénédictiones et pour honorer Son Saint Nom.

✚ A mes parents, mes frères et sœurs, mes deux petites nièces et ma grand-mère, en guise de reconnaissance et d'amour.

*Mais moi, je me confie en toi, ô Eternel ! Je dis Tu es mon Dieu ! Mes destinées sont dans ta main ; (Psaume 31.15-16)*

*Remets ton sort à l'Eternel, confie-toi en Lui, et c'est Lui qui agira. Garde le silence devant l'Eternel, et attends-toi à Lui. (Psaume 37.5,7)*

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

GLOSSAIRE

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES UNITES

LISTE ET NOMENCLATURE DES TABLEAUX

LISTE ET NOMENCLATURE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE GINGEMBRE

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES HUILES ESSENTIELLES

CHAPITRE III : TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'HUILE ESSENTIELLE DE  
*ZINGIBER OFFICINALE* ROSCOE

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV : ETUDE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE*  
ROSCOE

CHAPITRE V : ETUDE DE LA VARIABILITE DE LA COMPOSITION DE L'HUILE  
ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE* DE MADAGASCAR SELON LA  
PERIODE DE RECOLTE

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

## REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance et ma gratitude vont en premier lieu au Seigneur Jésus-Christ qui m'a bénie et réconfortée tout au long de ce mémoire.

Mes chaleureux et sincères remerciements vont aussi à l'encontre de :

Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine, Professeur, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (E.S.P.A.) qui me fait l'honneur de présider le Jury de ce mémoire.

Monsieur RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné, Maître de Conférences, Chef de Département Génie Chimique, mon rapporteur, pour tout son appui et toute son attention pour la réalisation de ce travail.

Monsieur RAZAFIMANDEFITRA André, Enseignant chercheur, mon encadreur, pour tous ses riches conseils et son aide tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Madame RASOLONDRAMANITRA VALISOLALAO Jocelyne, Professeur titulaire, d'avoir bien voulu examiner ce présent mémoire.

Monsieur ANDRIANARISON Edouard, Maître de Conférences, d'être aussi l'examineur de ce travail.

Messieurs ANDRIAMALALA Mbola Prosper et RAKOTOANDRIANOMANANA José, Responsables du Laboratoire du Département Génie Chimique, pour leur collaboration.

Tous les Enseignants dans le Département Génie Chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (E.S.P.A.) pour avoir transmis leurs savoirs durant ces cinq années.

Monsieur RABEHAJA Delphin, Responsable du laboratoire d'analyse des huiles essentielles à l'Institut Malgache des Recherches Appliquées (I.M.R.A.) et son assistant Monsieur IHANDRIHARISON Harilala, pour leurs aides et services rendus.

La société AROMAFORST, pour les précieuses données qu'elle a pu me fournir pour enrichir ce livre de mémoire.

Monsieur ANDRIANANTOANDRO James, Directeur Gérant de la Société LE DAMA, pour son soutien et ses précieux conseils.

Je tiens aussi à remercier toute ma famille qui a été un grand soutien pour moi tout au long de la préparation de ce mémoire.

Je remercie également tous mes amis et mes collègues pour leur aide et leur soutien, surtout dans la prière.

Et enfin, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Un très grand et sincère merci à tous !

## GLOSSAIRE

### BOTANIQUE

Anatropé : en botanique, désigne un ovule dont le hile\* est voisin du micropyle\*.

Hile\* : point où la graine est reliée au fruit.

Micropyle\* : orifice dans les téguments\* de l'ovule des végétaux phanérogames\* qui sert à la fécondation.

Téguments\* : enveloppes externes de la graine.

### Végétaux

phanérogames\* : ayant les organes de fructification apparents dans la fleur.

Bractée : en botanique, petite feuille à la base du pédoncule (= queue) de la fleur.

Corolle : en botanique, ensemble des pétales d'une fleur, formant le second verticille\*.

Verticille \* : ensemble des feuilles, de fleurs, partant toutes depuis un même niveau de l'axe qui les porte.

Distique : en botanique, qualifie des feuilles isolées alternant sur une tige.

Epicarpe : en botanique, partie externe du péricarpe d'un fruit, la "peau" du fruit.

Gaine : en botanique, partie élargie par laquelle le pétiole\* d'une feuille est relié à la tige.

Pétiole\* : partie rétrécie d'une feuille reliant le limbe à la tige.

<u>Glabre</u> :	en botanique, dépourvu de poils, de duvet.
<u>Hampe</u> :	en botanique, axe d'une plante à fleurs.
<u>Herbacé</u> :	en botanique, qui a l'aspect de l'herbe.
<u>Imbriqué</u> :	se dit des choses qui se recouvrent partiellement, comme les tuiles d'un toit.
<u>Lâche</u> :	qui n'est pas tendu.
<u>Loculicide</u> :	en botanique, se dit de l'ouverture d'une capsule par la rupture longitudinale de la nervure médiane des carpelles*
<u>Carpelle</u> * :	partie de fleur dont l'ensemble forme le pistil.
<u>Parenchyme cortical</u> :	tissu fonctionnel végétal appartenant à l'écorce.
<u>Sessile</u> :	dépourvu de support (fleur, fruit sessile).
<u>Triloculaire</u> :	en sciences, divisé en trois loges, cavités de l'ovaire, du fruit, etc.
<u>Vivace</u> :	capable de vivre longtemps ; au figuré, qu'il est difficile de détruire.

## PHARMACOLOGIE

### Action

<u>thermogénique</u> :	qui produit de la chaleur.
<u>Algie</u> :	en médecine, douleur physique.
<u>Analgésique</u> :	en médecine, qui rend insensible à la douleur.
<u>Antalgique</u> :	en pharmacologie, calmant la douleur.

- Antiarthritique : en médecine, pour combattre l'arthrite.
- Antibactérien : en biologie, prévenant ou combattant les bactéries, l'infection bactérienne.
- Anticancéreux : en pharmacologie, qualifie une thérapeutique destinée à lutter contre la prolifération cancéreuse.
- Anticatatarrhale : en pharmacologie, qui prévient ou guérit le catarrhe\*.
- Catarrhe\* : en pathologie, inflammation des muqueuses se traduisant par une hypersécrétion.
- Antiémétique : en pharmacologie, propre à combattre les vomissements.
- Antifongique : qui détruit les champignons ; en pharmacologie, luttant contre les infections par les champignons.
- Anti-inflammatoire : en pharmacologie, propre à combattre l'inflammation.
- Antimicrobien : en biologie, prévenant ou combattant l'infection microbienne.
- Antimigraineux : en pharmacologie, combattant la migraine, les douleurs migraineuses.
- Antioxydant : composé qui protège les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres. (Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans le développement des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement.)
- Antiparasitaire : en pharmacologie, qualifie une substance capable de lutter contre des parasites externes ou internes.
- Antipyrétique : en pharmacologie, réduisant la fièvre.
- Antirhumatismaux : en pharmacologie, prévenant ou combattant les rhumatismes.

<u>Antitumorale</u> :	en pharmacologie, qui permet de lutter contre les tumeurs.
<u>Antiviral</u> :	en biologie, combattant les virus.
<u>Aphrodisiaque</u> :	stimulant le désir sexuel.
<u>Bronchite</u> :	en pathologie, inflammation des bronches, des voies aériennes des poumons.
<u>Cardiotonique</u> :	en médecine, stimulant l'activité cardiaque.
<u>Cardiovasculaire</u> :	en anatomie, relatif au cœur et aux vaisseaux sanguins.
<u>Carminative</u> :	en médecine, aidant l'expulsion des gaz intestinaux.
<u>Cholagogue</u> :	en médecine, qualifie une substance à effet cholérétique*, évacuant la bile.
<u>Cholérétique*</u> :	en médecine, qualifie une substance agissant sur la sécrétion biliaire.
<u>Constipation</u> :	en médecine, fait d'avoir des difficultés à aller à la selle, à évacuer les fèces (excréments, matières fécales, résidus de la digestion).
<u>Dyspepsie</u> :	en médecine, troubles de la digestion, sans lésions organiques.
<u>Expectorant</u> :	qui aide à expectorer, à tousser, à cracher (sirop expectorant).
<u>Gastro-intestinaux</u> :	en médecine, relatif à l'estomac et à l'intestin.
<u>Héparine</u> :	en biochimie, substance anticoagulante contenue dans le foie.
<u>Hétéroside</u> :	en biochimie, oside composé d'oses et de composants non glucidiques.
<u>Hypoglycémiant</u> :	en médecine, se dit d'un médicament qui provoque une diminution du taux de glucose dans le sang.

- Inappétence : (en langage recherché) manque d'appétit.
- Impuissance : fait d'être incapable d'accomplir l'acte sexuel.
- Météorisme : en médecine, augmentation du volume de l'abdomen des ruminants par accumulation de gaz dans le tube digestif.
- Odontalgie : en pathologie, douleur dentaire.
- Pelviennne : en anatomie, relative au bassin, ceinture osseuse formée du sacrum, du coccyx et des deux os iliaques, chez les mammifères.
- Rhumatisme : en pathologie, affection aux causes multiples qui se porte sur les articulations et les os.
- Sérotonine : en biologie, substance qui joue un rôle dans l'allergie et l'hypertension artérielle.
- Stomachique : en anatomie, relatif à l'estomac.

## LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**CPG/SM** : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

**EMAG** : Esters méthyliques d'acide gras

**HE** : Huile essentielle

**I.A.** : Indice d'acide

**I.E.** : Indice d'ester

**I**: Indice de rétention

**$I_k$**  : Indice de Kovats

**IKA/IKP** : Indice de Kovats Apolaire/ Indice de Kovats Polaire

**IMRA** : Institut Malgache des Recherches Appliquées

**P** : Pression

**T** : Température

**V** : Volume

## LISTE DES UNITES

**m** : mètre

**cm** : centimètre

**mm** : millimètre

**ml** : millilitre

**nm** : nanomètre

**l** : litre

**mol/l** : mole par litre

**mrad** : milliradian

**°** : degré

**°C** : degré Celsius

**kg** : kilogramme

**g** : gramme

**%** : pourcentage

**Min, mn** : minute

## LISTE ET NOMENCLATURE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les noms vernaculaires du gingembre.....	5
Tableau 2: Production de gingembre dans le monde.....	13
Tableau 3: Production de gingembre à Madagascar.....	14
Tableau 4: Poids net (en kg) et valeur FOB (en Ariary) de l'exportation de gingembre à Madagascar de 2005 à 2009.....	15
Tableau 5: Composition chimique moyenne pour 100 g de rhizomes frais de gingembre.....	17
Tableau 6: Composition chimique (%) des oléorésines de gingembre obtenues à partir de différents solvants et analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM).....	27
Tableau 7: Huiles essentielles produites à Madagascar.....	31
Tableau 8: Poids net (en kg) et valeur FOB (en Ariary) de l'exportation d'HE à Madagascar de 2005 à 2009.....	32
Tableau 9: Propriétés organoleptiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> de Madagascar.....	33
Tableau 10: Propriétés organoleptiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> dans le monde.....	34
Tableau 11: Propriétés physico-chimiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> de Madagascar.....	34
Tableau 12: Propriétés physico-chimiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> dans le monde.....	35
Tableau 13: Composition chimique de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe dans le monde.....	35
Tableau 14: Composition chimique de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> de Madagascar par KOROCH.A et al .....	40

Tableau 15: Composition chimique de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe de Madagascar (Beforona mois d'Août).....	41
Tableau 16: Rendements d'extraction selon l'état des rhizomes de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	46
Tableau 17: Rendement moyen de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	47
Tableau 18: Caractéristiques organoleptiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe obtenue.....	47
Tableau 19: Indice de réfraction de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe étudiée.....	48
Tableau 20: Propriétés physico-chimiques de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe étudiée.....	50
Tableau 21: Composition chimique des HE de rhizomes frais et partiellement séchés de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	52
Tableau 22: Masses d'HE recueillie en fonction du temps.....	58
Tableau 23: Les profils chromatographiques de TÊTE, CŒUR et QUEUE.....	59
Tableau 24: Variation de la composition chimique de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe selon la période de récolte à Madagascar.....	62

## LISTE ET NOMENCLATURE DES FIGURES

Figure 1: La plante entière du <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	7
Figure 2: Les principales zones productrices de gingembre .....	9
Figure 3: Pédologie de l'Est.....	11
Figure 4: Climat de l'Est.....	12
Figure 5: Valeur FOB (en Ariary) de l'exportation de gingembre à Madagascar de 2005 à 2009.....	15
Figure 6: Alambic d'hydrodistillation.....	21
Figure 7: Alambic fonctionnant par entraînement à la vapeur.....	22
Figure 8: Alambic pour hydrodiffusion.....	23
Figure 9: Valeur FOB (en Ariary) de l'exportation des HE à Madagascar de 2005 à 2009.....	32
Figure 10: Hydrodistillateur de laboratoire.....	45
Figure 11: Schéma de fonctionnement d'un chromatographe en phase gazeuse....	51
Figure 12: Four (image à gauche) muni d'un pupitre de commande servant à programmer les conditions d'analyse et colonne capillaire (à droite) montée dans le four.....	52
Figure 13: Chromatogramme n°1: Huile essentielle de rhizomes de gingembre frais.....	56
Figure 14: Chromatogramme n°2: Huile essentielle de rhizomes de gingembre partiellement séchés.....	57
Figure 15: Courbe représentative de la cinétique d'extraction de l'HE de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe.....	58
Figure 16: Chromatogramme n°3: Huile essentielle "Tête".....	61
Figure 17: Chromatogramme n°4: Huile essentielle "Cœur".....	62
Figure 18: Chromatogramme n°5: Huile essentielle "Queue".....	63

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Détermination de l'indice de réfraction selon AFNOR T 75-112

ANNEXE 2 : Détermination du pouvoir rotatoire selon AFNOR T 75-113

ANNEXE 3 : Détermination de la densité relative à 20°C selon AFNOR NF T 75-111

ANNEXE 4 : Détermination de l'indice d'acide I.A selon AFNOR NF T 75-103

ANNEXE 5 : Détermination de l'indice d'ester I.E selon NF T 75-104

ANNEXE 6: Méthode de calcul des indices de rétention

ANNEXE 7 : Méthode de calcul des indices de Kovats

ANNEXE 8 : Structures moléculaires des constituants de l'huile essentielle de *Zingiber officinale*

ANNEXE 9 : Structures moléculaires de quelques composés piquants contenus dans l'oléorésine

## INTRODUCTION GENERALE

Madagascar est une île tropicale riche en matière de flore et de faune. Cependant, on peut dire que c'est encore un pays en voie de développement. Il devrait donc exploiter ses ressources naturelles pour développer son économie. Le gingembre, le sujet de notre étude, est une plante cultivée à Madagascar de manière entièrement biologique et la production nationale tourne aux environs de 4000 tonnes par an. Le gingembre est très connu en tant qu'épice dans le monde et occupe 6% des importations des épices dans le marché international. Il tient donc une place importante sur le marché mondial et celui provenant de Madagascar commence à être vraiment apprécié.

Par ailleurs, on décèle chez le gingembre une multitude de vertus thérapeutiques. En effet, depuis des milliers d'année, le gingembre est utilisé dans la médecine indienne et chinoise. Par exemple en Chine, il traite plusieurs maux, entre autres le mal de tête, la nausée, les douleurs d'estomac et le rhume. Et il est également employé dans la médecine traditionnelle d'autres pays comme en Malaisie, Indonésie, Arabie, Sénégal, Togo et Madagascar. Les extraits de gingembre présentent aussi de grands intérêts dans l'industrie cosmétique et l'industrie de parfum.

La filière huile essentielle possède une forte potentialité socio-économique pour notre pays car les plantes aromatiques à Madagascar sont nombreuses et de qualité totalement biologique. Il se trouve que le gingembre soit une plante à huile essentielle. Le flacon de 5ml d'huile essentielle de gingembre BIO se vend sur internet à environ 7 à 10 €. Pourtant l'huile essentielle de gingembre représente moins de 0.6 % dans la totalité des exportations des huiles essentielles à Madagascar. Une meilleure exploitation de l'huile essentielle de gingembre malgache serait vraiment intéressante.

Grâce à toutes ses vertus, cette plante tropicale fait l'objet de plusieurs études. Notre sujet consiste à contribuer dans l'étude de l'huile essentielle de gingembre malgache en vue d'une meilleure exploitation de celle-ci.

Ainsi, le présent ouvrage comportera deux grandes parties distinctes :

La première sera consacrée aux études bibliographiques. Les généralités sur le gingembre, les études antérieures effectuées sur ses extraits et ses huiles essentielles y seront exposées.

L'étude expérimentale occupera la seconde partie. Nous donnerons dans celle-ci les caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles de gingembre extraites au Laboratoire du Département Génie Chimique. Ensuite nous y rapporterons l'étude effectuée sur la cinétique d'extraction de l'huile essentielle de gingembre. Et enfin, nous y exposerons l'étude de variabilité de l'huile essentielle de gingembre malgache selon la période de récolte.

# PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PLANTE *ZINGIBER OFFICINALE* ROSCOE

### I.1. Historique [32] [16]

Supposé originaire de l'Inde et de la Malaisie, le gingembre, *Zingiber officinale* Roscoe, de la famille des Zingibéracées, est l'une des épices les plus connues et les plus populaires. Son nom dériverait du sanscrit « Sanjabil ». L'utilisation de cette épice en Chine et aux Indes date des temps les plus reculés. Introduit en Allemagne dès le IX<sup>ème</sup> siècle et en France vers le XII<sup>ème</sup> siècle, il était presque aussi renommé que le poivre. Le premier Européen à l'avoir vue paraît être Marco POLO qui, entre 1280 et 1290, la rencontra en Chine et en Inde mais ne la décrivit pas. Les premières descriptions du végétal ont été faites en 1292 par Jean De MONTE-CORVINO et Nicolas CONTI.

La plante fut introduite en Amérique peu après la découverte de ce continent. C'est Francisco De MENDOCA qui l'apporta au Mexique dont son père était vice-roi. De là, elle passa bientôt aux Antilles, et en particulier à la Jamaïque qui, dès 1547 exportait 1100 tonnes de rhizomes vers l'Espagne et est restée depuis un des principaux pays producteurs de gingembre.

### I.2. Botanique de la plante [1] [5] [10] [16] [21] [39]

#### I.2.1. Biosystématique du gingembre

Le *Zingiber officinale*, fait partie de la famille des Zingibéracées qui compte 1500 espèces environ dont en voici quelques exemples : les Curcuma (*C.longa*, *C.zedoria*), les Hedychium (*H.acuminatum*), les Zingiber (*Z.cassumunar*, *Z.officinale*), etc.

Le *Zingiber Officinale* est classé botaniquement comme suit :

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Scitaminées

Famille : Zingibéracées

Genre : *Zingiber*

Espèce : *Officinale*

### I.2.2. Dénominations

- Noms vulgaires
- Gingembre (Français)
- Ginger (Anglais)
- Ingwer (Allemand)

- Noms vernaculaires

Tableau 1 : Les noms vernaculaires du gingembre

<i>Pays</i>	<i>Appellations</i>
Bénin	dotè, atalé, ata ilé
Comores	n'tsiguizou
Congo	moungountsimbala, tangawissi
Madagascar	sakamalaho, sakay tany, sakaviro
Niger	tchita
Sénégal	dinjar, jinger

Source : ADJANOHOUN E.J. [1], RANDRIANARIVONY L.L. [26]

- Nom scientifique et synonymes

-*Zingiber officinale* Roscoe ou *Zingiber officinalis* Roscoe

Synonymes :

- *Amomum zingiber* L.
- *Zingiber majus* Rumph.

### I.2.3. Variétés [28] [42]

Il existe un grand nombre de variétés naturelles de gingembre, et l'Inde en compte environ une cinquantaine à elle seule. A Madagascar il y aurait seulement deux variétés : la variété « Zanatany » et la variété « La Réunion ».

### I.2.4. Description botanique

Le *Zingiber Offinale* Roscoe est une plante herbacée vivace, dont le nombre chromosomique est  $2n=22$ . Sa partie souterraine est constituée par un **rhizome** couvert de feuilles écailleuses et pourvu à sa partie inférieure de racines adventives cylindriques. Ce rhizome, rameux horizontalement, porte des tubercules palmés, charnus, plus tard fibreux. Lors de leur arrachage à maturité, c'est-à-dire après fanage de la partie aérienne de la plante, les rhizomes frais de gingembre se présentent sous la forme d'organes irréguliers, allongés, de la grosseur du pouce et présentant des ramifications obtuses dans un même plan. Leur volume et leur poids varient selon les conditions écologiques et les soins apportés à la culture ; les plus gros rhizomes peuvent peser plus de 200g et avoir jusqu'à 15 cm et davantage.

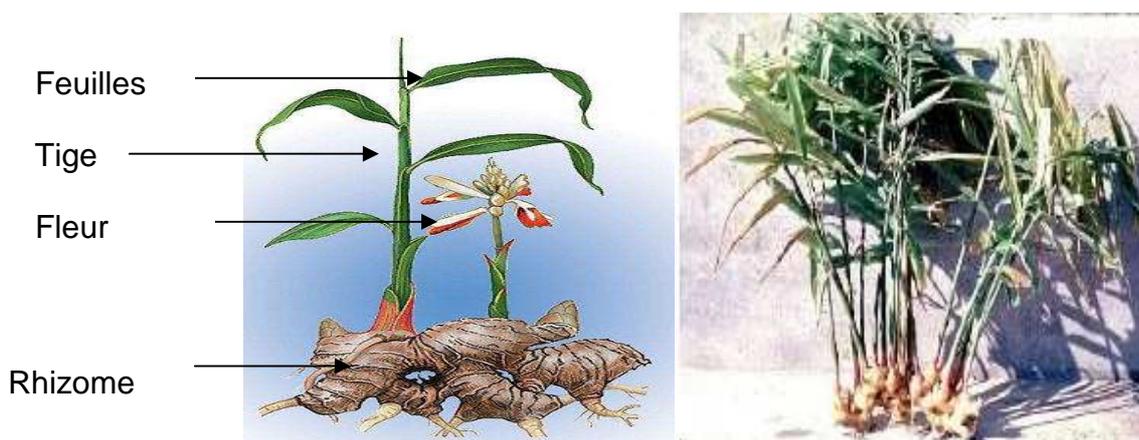


Figure 1 : La plante entière du *Zingiber officinale* Roscoe

Les **tiges** de la plante sont verticales, couvertes par les gaines des feuilles. Ils sont en général stériles et mesurent de 0.60 m à 1.50 m de haut.

Les **feuilles** sont, alternes, sessiles et distiques. Certaines sont pourvues d'un limbe linéaire, lancéolé, acuminé 15 -20 cm\*2-3cm se prolongeant en une gaine transparente sur la tige.

Les **inflorescences** sont supportées par des scapes (hampes) de 20 cm de hauteur, partant du rhizome. Ces hampes sont dépourvues de feuilles mais garnies d'écailles engainantes, celles de la partie inférieure étant courtes et imbriquées, les autres étant glabres, lâches et progressivement plus longues, jusqu'à mesurer 4 cm.

Les **fleurs** naissent par une ou deux à l'aisselle d'une bractée. Le calice, verdâtre, a 1 cm de longueur et possède 3 sépales unis à la base. Les trois pétales de la corolle, alternés avec les divisions du calice extérieur, sont unies à leur base sur 2 cm environ avant de se séparer en 3 lobes acérés. Ils sont d'un jaune plus ou moins orangé, parfois strié de pourpre violacé. Des trois étamines de la plante, une seule est fertile. Les 2 stériles sont soudées ensemble en une lame (2cm\*1.5cm), divisée en 3 lobes. Cette lame (le « labelle ») est de couleur pourpre-violacé avec des taches plus claires. L'ovaire, infère et glabre, est à trois loges superposées aux sépales extérieures et contenant chacune de nombreux ovules anatropes disposés en deux séries verticales.

La plupart des auteurs sont d'avis que le **fruit** est inconnu. Certains cependant signalent qu'il est rare et se présente sous la forme d'une capsule à parois minces, trilobulaire, loculicide, s'ouvrant en trois valves et contenant un certains nombre de **graines** noires, petites et anguleuses.

### I.3. Distribution géographique

#### I.3.1. Dans le monde [14]

Le gingembre est cultivé dans toutes les zones tropicales du monde. On peut citer par exemple : Inde, Chine, Sri Lanka, Mexique, Jamaïque, Hong-Kong, Australie, Nigéria, Congo, Sierra-Léone, Japon.

#### I.3.2. A Madagascar [28]

On peut compter en général cinq (5) principales zones productrices de gingembre à Madagascar qui sont :

- La zone du moyen Est : le district de Moramanga dans la Province de Tamatave,
- La zone des Hautes Terres : le district de Manjakadriana et Anjozorobe dans la province d'Antananarivo,
- La zone du moyen Ouest : le district de Soavinandriana Province d' Antananarivo,
- La zone du Sud : le district de Fort Carnot dans la province de Fianarantsoa
- Et la zone Nord : la région de Sambirano dans la Province d'Antsiranana.

En gros, ce sont les zones plus ou moins fertiles et pluvieuses qui sont productives de gingembre.



● Localisation

Figure 2 : Les principales zones productrices de gingembre à Madagascar

#### I.4. Ecologie [16] [21] [32] [36] [37] [39]

##### I.4.1. Exigences climatiques

Conformément à son origine indienne ou malaisienne supposée, le gingembre demande un climat tropical ou subtropical où la température est élevée au moins une partie de l'année. Il exige un grand ensoleillement mais aussi une pluviosité élevée ; la plante prospère dans les régions où la pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 2000 mm. Dans les régions moins arrosées, il est nécessaire de recourir à l'irrigation. Le gingembre s'accommode d'une saison sèche, qui provoque le repos végétatif, pourvu que cette période ne soit pas trop longue.

##### I.4.2. Exigences pédologiques

Le gingembre donne son meilleur rendement sur un sol bien structuré, travaillé, drainé et sain. Il s'accommode de nombreux sols : sols de jardin c'est-à-dire humifère et assez léger, sols d'origine volcanique, sols de formation latéritique provenant de la décomposition de gneiss et qui se ressuient bien, sols alluvionnaires, sols sablo-limoneux, sols argilo-siliceux. Mais il est déconseillé de le cultiver sur un sol facilement inondable ou trop humide car le gingembre craint l'humidité en excès, les sols caillouteux ou argileux (argiles très compactes) sont aussi à proscrire. Il est aussi déconseillé de le cultiver sur la même parcelle tous les ans. En effet, c'est une plante qui épuise le sol, il est nécessaire de l'alterner avec d'autres cultures. Et afin d'obtenir une croissance et une production satisfaisante, il est nécessaire de pratiquer le fumage et le paillage.

##### I.4.3. Pédologie et climatologie de l'Est : région la plus productive en gingembre à Madagascar

La région Est de Madagascar est la plus productive en gingembre. En effet, cette région répond aux exigences citées précédemment et permet ainsi au bon développement de la plante. Les deux cartes suivantes montrent respectivement la pédologie et le climat de cette région.

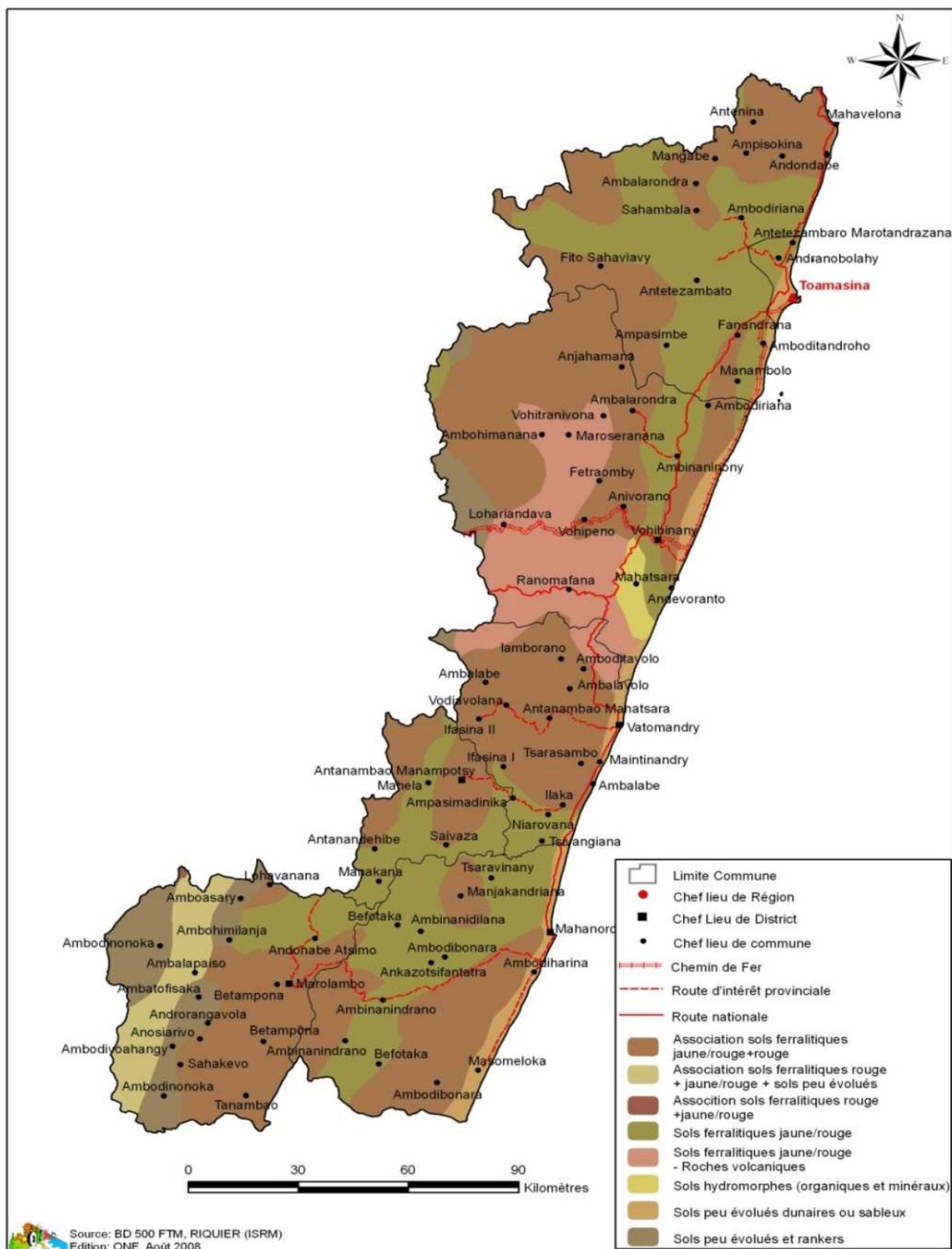


Figure 3 : Pédologie de l'Est

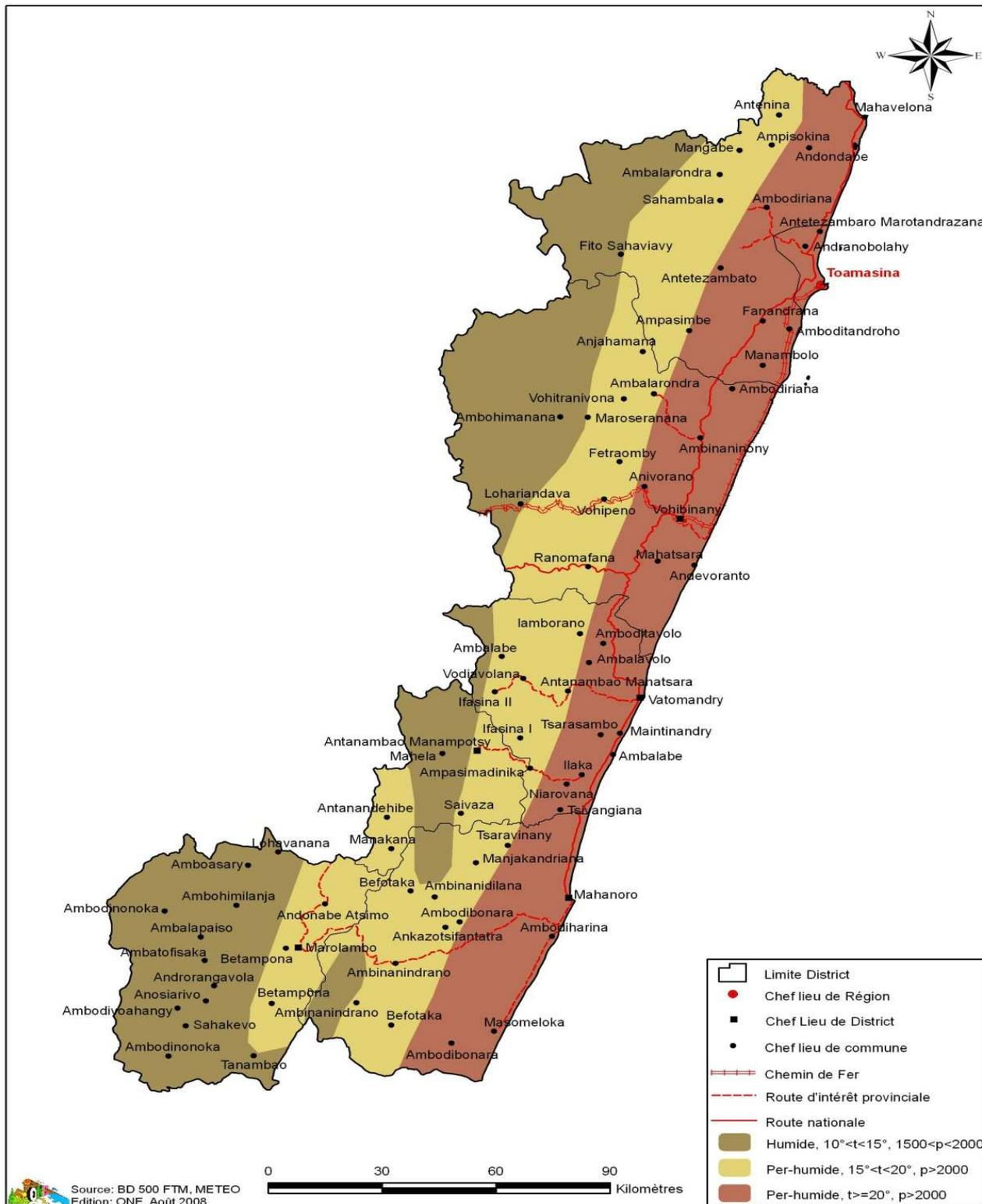


Figure 4 : Climat de l'Est

## I.5. Cycle végétatif [28]

La germination commence en mois d'Août. La croissance débute peu après la sortie de la tigelle et s'arrête généralement vers la fin du mois d'Avril. Ensuite la partie aérienne de la plante commence à jaunir, ce phénomène se produit au plus tard au mois de Juin ; elle flétrit entièrement et se détache du rhizome. Pendant cette période, le rhizome n'augmente plus de taille mais de poids et il devient de plus en plus fibreux. La maturité maximale est atteinte au 10<sup>ème</sup> mois du cycle mais la récolte peut se faire dès le 5<sup>ème</sup> ou 6<sup>ème</sup> mois. Les rhizomes peuvent se conserver jusqu' à plus de 2 ans dans le sol mais à ce stade ils sont très fibreux et deviennent plus fort en saveur.

## I.6. Production mondiale et locale de gingembre [25] [38]

Le gingembre est cultivé dans plusieurs pays du monde, les tableaux suivants nous donnent des chiffres sur la production annuelle de gingembre dans le monde et à Madagascar.

- Dans le monde

Tableau 2 : Production de Gingembre dans le monde

Pays	2003		2004	
	[tonnes]	[%]	[tonnes]	[%]
Inde	275000	27	275000	27
Chine	259719	25	260000	25
Indonésie	151000	15	151000	15
Nigéria	110000	11	110000	11
Népal	90000	9	90000	9
Bangladesh	43000	4	48000	4
Thaïlande	33000	3	33000	3
Philippines	30000	3	30000	3
Autres pays	39259	3	39270	3
Total	1030978	100	1036270	100

Source : Données FAOSTAT [38]

Comme on peut le constater, l'Inde est le plus grand producteur de gingembre et c'est aussi le plus grand exportateur au monde.

- A Madagascar

C'est la région de Beforona dans le district de Moramanga qui est le grand producteur de gingembre. Sa production annuelle représente presque les trois quart de la totalité de Madagascar.

Tableau 3: Production de Gingembre à Madagascar

	[tonnes]	[%]
Beforona	3000	75
Madagascar	4000	100

Source : RANAIVONJOANY M. [25]

### I.7. Marché mondial et local de gingembre [8] [21]

Selon le Centre International du Commerce (CIC), le marché mondial du gingembre a atteint 230 000 tonnes pour une valeur de 142 millions de dollars en 2002. En effet il occupe 6% des importations des épices dans le marché mondial. Les marchés importants sont constitués par les pays de l'Union Européenne, les Etats-Unis et les pays asiatiques.

Pour Madagascar, sa production est écoulee en grande partie sur le marché local et le reste sur le marché international. Le gingembre malgache commence à avoir une bonne réputation sur le marché mondial et une forte demande de ce produit se fait sentir de la part des opérateurs. Le tableau suivant montre l'évolution de l'exportation de gingembre de Madagascar allant de 2005 à 2009.

Tableau 4: Poids net (en kg) et valeur FOB (en Ariary) de l'exportation de gingembre à Madagascar de 2005 à 2009

	2005	2006	2007	2008	2009*
Poids net [kg]	57 805	83 953	63 099	68 251	8 288
Valeur FOB [Ariary]	102 528 519	184 793 123	121 567 571	116 861 705	16 395 352

Source : DGINSTAT/D S E/S S E S/COMEXT/JANVIER 2010

2009\* : valeur pour seulement le 1<sup>er</sup> trimestre de l'année, les autres valeurs sont encore indisponibles.

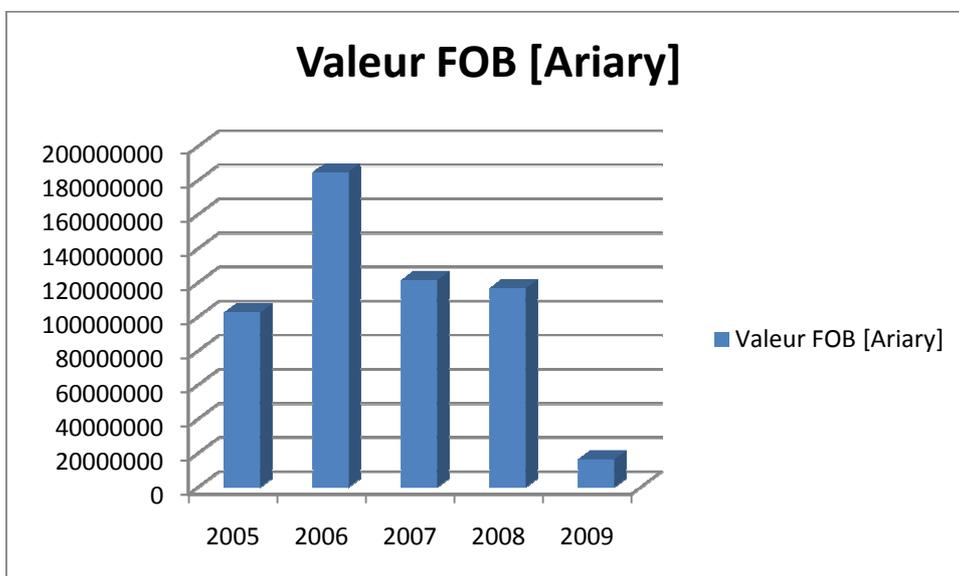


Figure 5: Valeur FOB (en Ariary) de l'exportation de gingembre à Madagascar de 2005 à 2009

En 2006, on remarque qu'on a le meilleur prix de gingembre. Ce dernier atteint 2201 Ariary le kilo. Et en 2008, ce prix a diminué à 1712 Ariary. Cette fluctuation de prix est peut être due à la concurrence des autres pays producteurs et à d'autres facteurs.

## I.8. Composition chimique du rhizome de gingembre [1] [4] [6] [16] [33]

Le rhizome est très riche en amidon, 10% à l'état frais et 60% à l'état sec, il renferme 0.25 à 3 % d'huile essentielle selon l'état de la matière, fraîche ou sèche, et de l'oléorésine (5 à 8%). Il contient aussi des protéines, lipides, hydrates de carbone, minéraux, vitamines et des enzymes protéolytiques appelés zingibaïne. Il possède une odeur très aromatique et une saveur chaude et brûlante. L'odeur caractéristique du gingembre est due à la présence d'huile essentielle que l'on peut obtenir par entraînement à la vapeur d'eau. Par contre, la saveur brûlante de l'épice n'est pas imputable à cette huile essentielle mais à d'autres substances non volatiles et qu'il faut par conséquent extraire à l'aide de solvants : cette extraction donne l' « oléorésine de gingembre ».

La composition de l'huile essentielle varie de façon importante selon l'origine géographique et on dénombre une centaine de constituants dans l'huile. Les éléments caractéristiques sont des carbures sesquiterpéniques (-)-zingiberène, (+)-ar-curcumène, (-)- $\beta$ -sesquiphellandrène,  $\beta$ -bisabolène, etc.... accompagnés d'aldéhydes et d'alcools monoterpéniques dont une partie existe (dans la drogue fraîche) sous forme d'hétérosides.

Les constituants responsables de la saveur marquée (brûlante) de la drogue sont les [3-6], [8], [10] et [12]-gingérols. Ces composés ont une chaîne latérale de longueur variable, respectivement de 7-10, 12, 14 ou 16 carbones. Ils sont accompagnés des cétones correspondantes. Et dans la drogue sèche, ils s'accompagnent des produits de déshydratation appelés shogaols.

Le tableau suivant donne une indication sur la composition chimique pour 100 g de rhizome de gingembre frais.

Tableau 5: Composition chimique moyenne pour 100 g de rhizomes frais de Gingembre

<b>Composants</b>	<b>Quantité (g)</b>
Glucides (amidon en majorité)	10
Protides	1,80
Lipides (principalement dans l'huile essentielle)	1,50
Eau	85,00
Fibres alimentaires (cellulose, hémicellulose)	>1.00
<b>Minéraux</b>	<b>Quantité (mg)</b>
Potassium	112,60
Phosphore	144,00
Calcium	43,00
Magnésium	157,00
Sodium	33,00
Fer	14,00
Cuivre	0,40
<b>Vitamines</b>	<b>Quantité (mg)</b>
Vitamines C (acide ascorbique)	35
Vitamines B1 (Thiamine)	0,05
Vitamines B2 (Riboflavine)	0,20
Vitamines B3 (nicotinamide)	5,20

Source : ZAFIMAHOVA K.A. [33], [40]

La vitamine C disparaît complètement dans le gingembre séché. Et les vitamines B1 et B2 sont aussi en quantités très réduites dans le rhizome de gingembre sec réduit en poudre.

## I.9. Propriétés et utilisations [1] [7] [9] [32] [34] [35] [42]

### I.9.1. Propriétés pharmacologiques

Les rhizomes de gingembre ont différentes propriétés pharmacologiques. Ils présentent des effets gastro-intestinaux, cardiovasculaires, antiarthritiques et antirhumatismaux, antiscorbutique, antimigraineux, antipyrétiques, analgésiques ainsi

que des effets antagonistes envers la sérotonine. Le gingembre présente également une activité antitumorale, antiparasitaire, antivirale, anti-inflammatoire, antioxydante, anticancéreuse, cholagogue, antiulcéreux et une action thermogénique. Le gingembre est aussi utilisé pour prévenir et soulager les nausées et vomissements associés au mal des transports, au mal de mer, à la grossesse ainsi qu'aux nausées et vomissements postopératoires et aux nausées provoquées par la chimiothérapie sans causer les effets indésirables souvent associés aux antiémétiques classiques.

Ainsi, le gingembre joue un grand rôle dans la prévention et le traitement de nombreuses affections.

### I.9.2. Utilisations

- en médecine traditionnelle

Ses indications étaient innombrables chez les anciens médecins : asthme, toux invétérée, indigestions, troubles visuels, etc.

En Chine, le gingembre est une aide digestive, il lutte contre le rhumatisme, la rage de dent, la diarrhée, la nausée, les maux d'estomac, les vomissements, le rhume, la toux, le mal de tête.

En Inde, il bloque la coagulation excessive (maladie du cœur), réduit le cholestérol et combat l'arthrite.

En Malaisie et Indonésie, il réchauffe et aide les mères qui viennent d'accoucher à transpirer afin d'évacuer les impuretés.

En Arabie, il s'utilise comme aphrodisiaque et pectoral.

Au Comores et à la Dominique il lutte contre les algies pelviennes.

Au Sénégal et au Niger c'est un antalgique et un antiseptique pour les algies et caries dentaires. C'est aussi un aphrodisiaque au Sénégal.

Au Togo et à Madagascar, il s'utilise pour lutter contre la toux.

- En cuisine

Le gingembre possède une saveur exceptionnelle et confère une note délicieusement orientale à n'importe quel plat. Il est utilisé comme épice à cause de son arôme délicat et sa saveur plus ou moins chaude.

Riche en enzymes protéolytiques, les rhizomes de gingembre frais produit un effet d'attendrissement de la viande cuite. L'enzyme en question, le zingibaïne, s'ajoute à la liste des enzymes protéolytiques issues de plantes telle que la papaïne.

#### I.10. Précautions [35]

Il y a cependant des précautions à prendre en considération pour la consommation du gingembre.

Différentes propriétés attribuées au gingembre (telles que des effets anticoagulant et hypoglycémiant) laissent supposer que sa consommation pourrait interférer avec certains médicaments, plantes ou suppléments, en augmentant leurs effets. À ce sujet, plusieurs auteurs recommandent aux personnes prenant des médicaments pour le sang (telle l'héparine ou l'aspirine) ou avant une chirurgie, d'éviter de consommer de grandes quantités de gingembre afin de diminuer les risques de saignements excessifs.

De plus, de grandes doses de gingembre pourraient interférer avec les médicaments pour le cœur (effet cardiotonique) et les médicaments pour le diabète (action hypoglycémiant). Ces risques d'interaction sont cependant théoriques et n'ont pas nécessairement été observés chez des patients.

### I.11. Différentes transformations du gingembre à Madagascar [18]

On transforme le gingembre selon ses utilisations, c'est aussi un moyen de le conserver. On peut alors trouver le gingembre sous la forme de :

- Huile essentielle : plusieurs sociétés industrielles à Madagascar comme Aromaforest, Le Dama et Homéopharma en produisent.
- Oléorésine : les oléorésines de poivre, de vanille et de gingembre sont produites à Madagascar par des entreprises industrielles telles que Ramanandraibe et Phael-Flor.
- Gingembre en conserve : Il est fabriqué à partir de rhizomes récoltés avant maturité pour donner un produit moins brûlant et plus agréable ; l'industrie agroalimentaire Bongou est un des producteurs à Madagascar.

## CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES HUILES ESSENTIELLES

### II.1. Huiles essentielles

#### II.1.1. Définition [6]

Une huile essentielle est un produit obtenu à partir d'une matière première végétale, par divers procédés notamment par entraînement à la vapeur et par des procédés mécaniques à partir de l'épicerpe des *Citrus*. L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques.

#### II.1.2. Procédés d'obtention

##### II.1.2.1 Par entraînement à la vapeur d'eau

###### a. Hydrodistillation simple

Elle consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter (intact ou éventuellement broyé) dans un alambic rempli d'eau qui est ensuite portée à ébullition. Les vapeurs hétérogènes (eau et huile essentielle) sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par différence de densité.

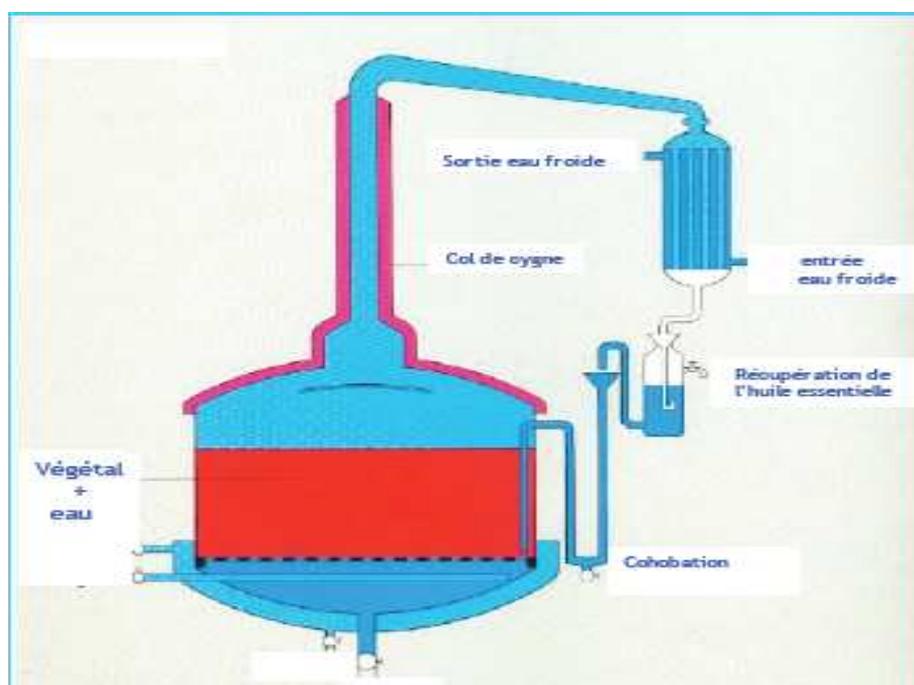


Figure 6 : Alambic d'hydrodistillation

## b. Distillation à vapeur saturée

Le végétal n'est pas en contact avec l'eau : la vapeur d'eau est injectée au travers de la masse végétale disposée sur des plaques perforées. Pour raccourcir le temps de traitement, limiter l'altération des constituants de l'huile essentielle et économiser l'énergie, il est possible de travailler en surpression modérée (1 à 3 bars). La conséquence de la surpression étant une augmentation de la température, la qualité du produit peut en souffrir.

La distillation à vapeur saturée peut également être conduite en continu, dans des installations automatisées.

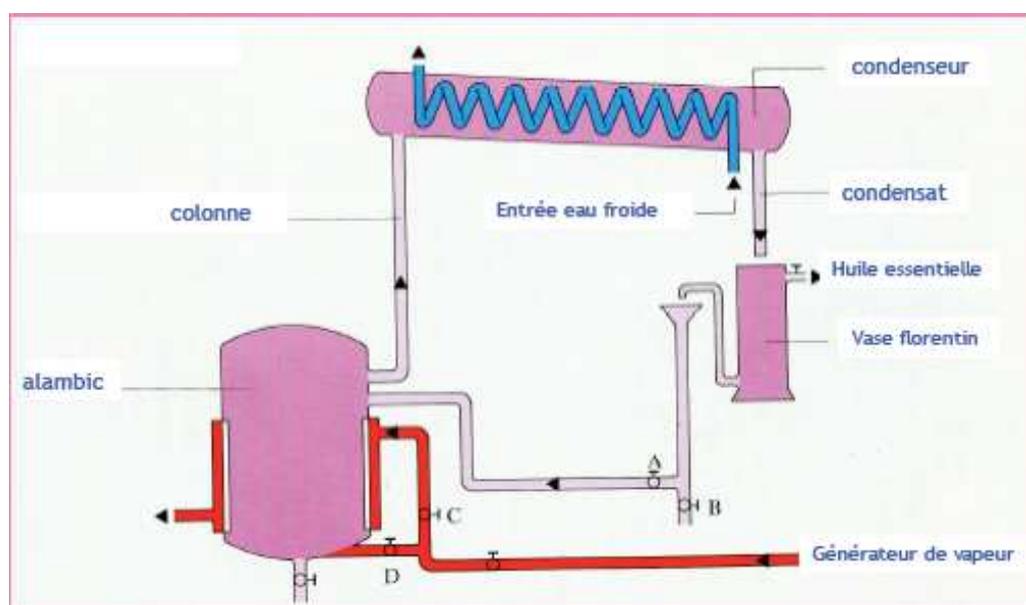


Figure 7 : Alambic fonctionnant par entraînement à la vapeur

## c. Hydrodiffusion

Cette technique consiste à pulser de la vapeur d'eau à très faible pression (0.02-0.15 bar) à travers la masse végétale, du haut vers le bas. La composition des produits obtenus est qualitativement sensiblement différente de celle des produits obtenus par les méthodes classiques.

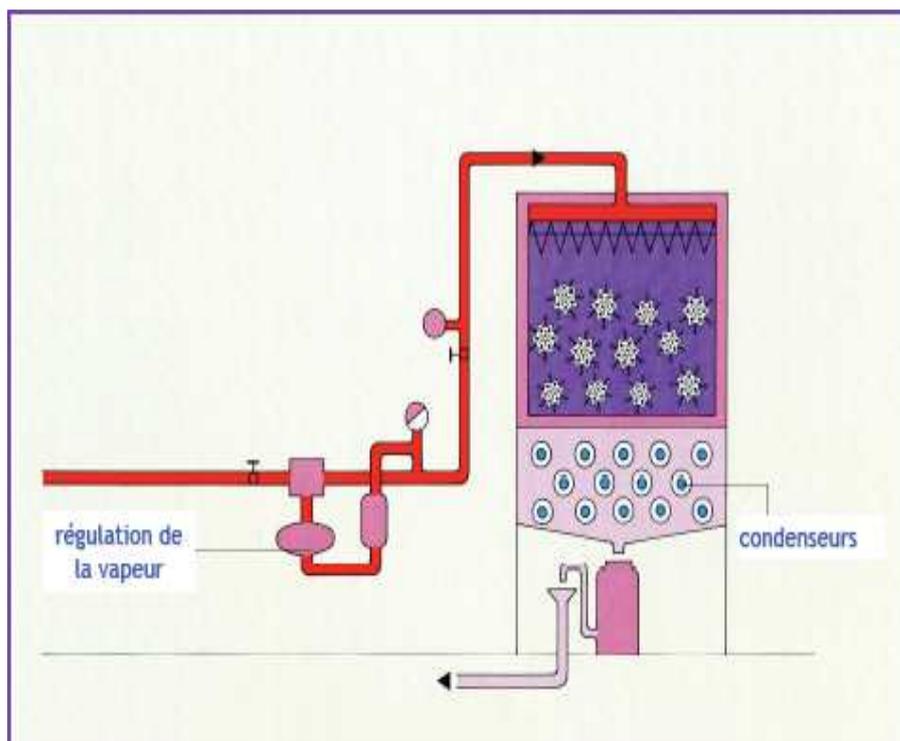


Figure 8 : Alambic pour hydrodiffusion

#### II.1.2.2. Par expression des épicarpes de Citrus

Alors que les huiles essentielles résultant de l'entraînement à la vapeur d'eau sont obtenues pratiquement à partir de toutes les parties de la plante, l'expression n'est effectuée que sur le péricarpe de certains fruits, en fait sur ceux du genre *Citrus*.

Le principe de cette méthode est très simple : les « zestes » sont dilacérés et le contenu des poches sécrétrices qui ont été rompues est récupéré par un procédé physique.

Le procédé classique consiste à exercer, sous un courant d'eau, une action abrasive sur la surface du fruit. Après élimination des déchets solides, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par centrifugation.

## II.2. Concrète, pommade florale, résinoïde et absolue [6]

### II.2.1. Définitions

L'*essence concrète* ou *concrète* est un extrait à odeur caractéristique, obtenu à partir d'une matière première fraîche d'origine végétale, par extraction au moyen d'un solvant non aqueux.

La *pommade florale* est un corps gras parfumé obtenu à partir de fleurs soit par « enfleurage à froid » (c'est la diffusion des constituants odorants des fleurs dans le corps gras), soit par « enfleurage à chaud » (c'est la digestion ou immersion des fleurs dans le corps gras fondu).

Le *résinoïde* est un extrait à odeur caractéristique, obtenu à partir d'une matière première sèche d'origine naturelle, par extraction à l'aide d'un solvant non aqueux.

L'*essence absolue* ou *absolue* est un produit ayant une odeur caractéristique, obtenu à partir d'une concrète, d'une pommade florale ou d'un résinoïde par extraction à l'éthanol à température ambiante. La solution éthanolique obtenue est généralement refroidie et filtrée dans le but de supprimer les cires ; l'éthanol est ensuite éliminé par distillation.

### II.2.2. Procédés d'obtention [6] [10] [17] [24]

#### II.2.2.1. Extraction par les solvants

L'extraction proprement dite est généralement précédée d'une division de la drogue : contusion des organes frais, flétris ou demi-desséchés, hachage des drogues herbacées, concassage des racines et rhizomes, réduction en copeaux des bois. L'opération est conduite dans des installations (ex : extracteur de type Soxhlet).

Le choix du solvant est influencé par des paramètres techniques et économiques : sélectivité (pouvoir solvant à l'égard des constituants), température d'ébullition (pas trop élevée pour permettre son élimination totale, pas trop faible pour éviter les pertes et donc une élévation des coûts), sécurité de manipulation (si possible non toxique et ininflammable), etc.

Les solvants les plus utilisés sont les hydrocarbures aliphatiques : éther de pétrole, hexane, propane ou butane liquides. On a également recours aux solvants halogénés (dérivés chlorés et fluorés du méthane et de l'éthane) et à l'éthanol, ce dernier étant surtout utilisé pour l'obtention d'absolues et de résinoïdes lavés. Après l'extraction, le solvant est distillé. En fin d'opération, le solvant qui imbibe la masse végétale est récupéré par injection de vapeur d'eau dans celle-ci.

#### *II.2.2.2. Procédés utilisant les huiles et les graisses*

Ces procédés mettent à profit la liposolubilité des composants odorants des végétaux dans le corps gras. Dans la technique dite de « l'enfleurage », l'extraction se fait par diffusion à froid vers le corps gras et dans celle dite de la « digestion » se pratique à chaud par immersion des organes végétaux dans le corps gras fondu (on parle couramment d'enfleurage à chaud). Le produit obtenu est une *pommade florale*.

Le procédé classique, très ancien et maintenant abandonné, consistait à déposer les fleurs sur des plaques de verre recouvertes d'une mince couche de graisse. Le parfum exhalé par les fleurs se dissolvait dans le corps gras. Périodiquement, les fleurs étaient éliminées et remplacées par des fleurs fraîches jusqu'à saturation du corps gras. Le lavage de ce dernier conduisait directement à une absolue.

L'extraction par un corps gras fondu, toujours pratiqué, n'est à la limite qu'un cas particulier de l'extraction par un solvant.

#### *II.2.2.3. Extraction par les gaz supercritiques*

Si plusieurs gaz peuvent en théorie être utilisés, l'intérêt s'est porté exclusivement sur le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ce qui s'explique si l'on considère ses atouts : c'est un produit naturel, inerte chimiquement, ininflammable, strictement non toxique, facile à éliminer totalement, aisément disponible, sélectif, etc.

- Etat supercritique :

L'état supercritique est l'état de la matière défini par une température et une pression minimales (point critique). Dès qu'un corps est soumis à une température et une pression supérieures à celles de son point critique, il se trouve à l'état supercritique.

L'anhydride carbonique ( $\text{CO}_2$ ) sous forme supercritique se trouve sous les conditions suivantes :  $T > 31^\circ\text{C}$  et  $P > 73,8 \text{ bars}$ . Ce fluide supercritique est un mélange homogène de gaz et de liquide (c'est-à-dire formant une seule phase).

- Principe de l'extraction :

Le courant de  $\text{CO}_2$  supercritique passe dans la masse végétale. Par augmentation de la pression il fait éclater les poches à essences et entraîne les substances aromatiques. Le  $\text{CO}_2$  chargé en soluté est ensuite détendu dans un séparateur, il devient alors gazeux et de pouvoir solvant nul. Le soluté précipite au fond du séparateur. Diverses études tendent à prouver que ce procédé respecterait intégralement l'essence originelle.

Les extraits au  $\text{CO}_2$  se caractérisent par :

- Une absence de solvant résiduel ;
- Une extraction à froid (à basse température) ;
- Un profil organoleptique plus proche de la nature que les extraits traditionnels.

### II.3. Oléorésines d'épices [24] [26] [30]

Les oléorésines sont des produits aromatiques visqueux obtenus à partir des épices (vanille, poivre, gingembre) par extraction au solvant. L'appareil couramment utilisé est l'extracteur de SOXHLET. Elles sont un mélange de constituants volatils et non volatils. Leur composition dépend largement du type de solvant utilisé.

Citons comme exemple l'oléorésine de gingembre qui est un liquide de couleur marron foncé, d'odeur caractéristique et de saveur piquante. SINGH G. et al. [30] a montré dans le tableau suivant la composition chimique par CPG/SM de quatre oléorésines issues des solvants : isooctane-tétrachlorure de carbone- éthanol et méthanol.

Tableau 6: composition chimique (%) des oléorésines de gingembre obtenues à partir de différents solvants et analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM).

COMPOSES	EtOH	MeOH	CCl <sub>4</sub>	Isooctane
Butanediol	-	trace	-	-
Octanal	0.4	1.8	1.5	-
β-phellandrène+1,8-cinéole	-	-	0.8	-
Terpinolène	trace	trace	0.9	trace
Bornéol	<b>1.9</b>	trace	1.7	-
α-terpinéol	0.9	0.2	0.9	trace
Décanal	1.2	<b>3.8</b>	2.1	2.7
Nérol	0.8	0.2	trace	trace
Néral	trace	trace	<b>4.9</b>	1.2
Géraniol	<b>3.7</b>	0.6	1.3	1.0
Géranial	trace	trace	<b>7.5</b>	trace
Eugénol	<b>49.8</b>	0.2	0.2	1.6
Acétate de géranyl	trace	trace	0.1	-
Méthyl eugénol	0.5	trace	-	-
Dodécanal	-	0.2	trace	trace
γ-élémyène	-	0.1	trace	trace
Trans-isoeugénol+trans-β-farnésène	0.5	0.2	0.1	trace
Ar-curcumène	0.5	1.0	2.8	trace
γ-curcumène	0.3	0.4	trace	trace
α-zingiberène	0.9	<b>2.7</b>	2.9	trace
γ-amorphène	trace	0.2	0.2	trace
(E,E)-α-farnésène	0.2	0.7	0.9	trace
β-bisabolène	trace	0.5	0.7	trace
δ-cadinène	trace	0.1	0.2	trace
β-sesquiphellandrène	0.7	1.4	1.7	0.4
α-calacorène	0.3	0.1	0.1	trace
Elémol	0.3	0.2	0.2	trace
Trans-nérolidol	1.2	0.7	0.6	trace
Acide laurique	0.4	trace	trace	trace
Sparhulenol	0.9	0.4	1.9	trace
Trans-sesquisabinène hydrate	trace	0.5	-	-
Globulol	trace	-	trace	trace
Zingibérénol	trace	0.3	trace	trace
10-épi-γ-eudesmol	trace	trace	0.1	-
Zingérone	<b>14.5</b>	<b>33.6</b>	<b>33.3</b>	<b>30.5</b>
(E,E) farnésal	trace	0.1	0.1	trace
Xanthorrhizol	trace	trace	0.1	trace
Acide myristique	trace	0.3	0.1	1.0
Acide palmiroléique, méthyl ester	-	-	-	2.7
Acide palmitique, methyl ester	-	0.5	-	3.1

Acide palmitoléique	-	-	-	<b>10.9</b>
Acide palmitique	0.8	1.0	0.7	<b>8.9</b>
Acide palmitique, éthyl ester	-	0.1	-	-
[2]-paradol	-	0.1	-	-
(E)-[4]-shogaol	trace	0.1	0.3	trace
Acide linoléique, méthyl ester	-	0.3	-	-
Acide oléique, méthyl ester	-	0.1	0.2	0.6
1-(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-2,4-déhydro-6-décanone	trace	trace	trace	0.7
Acide stéarique, méthyl ester	-	trace	-	trace
Acide linoléique	trace	0.6	0.4	0.6
Acide oléique	0.2	0.8	0.4	1.8
Acide linoléique, éthyl ester	-	0.3	-	-
Acide oléique, éthyl ester	-	0.2	-	-
Acide stéarique	0.3	0.2	0.2	0.9
Cis-[6]-shogaol	1.5	0.6	1.8	2.4
[6]-paradol	0.3	2.6	0.5	1.0
Trans-[6]-shogaol	<b>5.9</b>	<b>14.9</b>	<b>10.4</b>	<b>9.3</b>
[6]-gingerdione	0.4	-	-	trace
Diacetoxy-[4]-gingerdiol	-	1.4	2.3	-
[6]-gingéral	0.8	1.4	0.5	trace
Cis-[8]-shogaol	trace	0.7	0.2	-
[8]-paradol	-	0.1	trace	-
Acetoxy-[6]-gingérol	trace	-	0.2	-
Trans-[8]-shogaol	0.6	2.0	1.5	-
Diacetoxy-[6]-gingerdiol	1.5	<b>4.9</b>	1.0	<b>3.3</b>
Méthyl diacétoxy-[6]-gingerdiol	0.3	1.0	<b>3.5</b>	-
Plasticizer (phralate)	-	-	-	2.5
[8]-gingerdione	trace	-	0.4	-
1-déhydro-[6]-gingerdione	-	0.4	0.6	-
Cis-[10]-shogaol	trace	0.8	0.2	trace
[10]-paradol	-	trace	trace	-
Diacetoxy-[8]-gingerdiol	-	trace	trace	-
Trans-[10]-shogaol	0.4	2.2	0.6	trace
[10]-gingerdione	trace	0.9	0.6	-
Octacosane	-	-	trace	-
(ZE)-géraniol acétal of [4]-gingerdiol	-	trace	trace	-
nonacosane	-	-	trace	-
Trans-[12]-shogaol	-	trace	trace	-
[12]-gingerdione	-	trace	trace	-
Triacotane	-	-	trace	-
(ZZ)-neral acetal de [6]-gingerdiol	-	0.1	0.3	-
(ZE)-géraniol acetal de [6]-gingerdiol	-	0.6	0.5	-
Total	92.9	89.7	95.0	87.1

Source : SINGH G. [30]

L'ordre de polarité croissant de ces solvants est le suivant : isooctane,  $\text{CCl}_4$ , éthanol et méthanol. On peut dire que la composition chimique des oléorésines varie suivant la polarité des solvants utilisés. Pour le solvant le moins polaire (isooctane) on obtient souvent des traces. Alors que la plupart des constituants de l'oléorésine se trouvent dans l'extrait obtenu à partir du solvant moyennement polaire ( $\text{CCl}_4$ ).

L'eugénol (49.8%) est le composant majeur dans l'oléorésine extrait à l'éthanol pendant que dans les trois autres oléorésines, le zingérone est le composant majoritaire : 33.6%, 33.3% et 30.5% pour les oléorésines extrait au méthanol,  $\text{CCl}_4$  et isooctane respectivement. Ainsi, la composition chimique de l'oléorésine dépend de la nature du solvant utilisé pour l'extraction.

En résumé, le choix des solvants d'extraction est influencé par des paramètres techniques, biologiques et économiques : sélectivité, inertie chimique, température d'ébullition et toxicité. Ce dernier paramètre induit les problèmes des résidus dans le produit final. Pour le cas du gingembre, l'éthanol est le solvant approprié et recommandé dans l'obtention des extraits destinés à l'alimentation.

## II.4. Caractérisation des huiles essentielles

Elle est nécessaire pour évaluer la qualité de l'huile essentielle. Elle comprend : les caractéristiques organoleptiques et les caractéristiques physico-chimiques.

### II.4.1. Caractéristiques organoleptiques

Elles décrivent les impressions perçues par les organes de sens. Ce sont la saveur, l'odeur, l'aspect et la couleur de l'huile essentielle.

### II.4.2. Caractéristiques physico-chimiques

Ces caractéristiques physico-chimiques sont les indices physiques et les indices chimiques de l'huile essentielle.

#### *II.4.2.1. Indices physiques*

Ce sont la densité, l'indice de réfraction et le pouvoir rotatoire. Ces divers indices sont liés à la composition chimique de l'huile.

#### II.4.2.2 Indices chimiques

Ce sont les indices qui permettent de quantifier certains constituants de l'huile essentielle en dosant par une méthode chimique certains groupements fonctionnels.

### II.5. Composition chimique des huiles essentielles [6] [41]

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes et variables de constituants qui appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et des composés aromatiques dérivés du phénylpropane ( $C_6-C_3$ ) d'autre part.

#### II.5.1. Terpénoïdes

Dans le cas des huiles essentielles, seuls seront rencontrés les terpènes les plus volatils c'est-à-dire ceux dont la masse moléculaire n'est pas trop élevée, ils répondent à la formule générale  $(C_5H_8)_n$ . Suivant les valeurs de  $n$ , on a les monoterpènes ( $n=2$ ), les sesquiterpènes ( $n=3$ ).

*Monoterpènes.* Les carbures sont presque toujours présents. Ils peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques. Ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle (*Citrus*, térébenthines).

La réactivité des cations intermédiaires justifie l'existence de nombreuses molécules fonctionnalisées : alcools, aldéhydes, cétones, ester, éthers, peroxydes, phénols.

*Sesquiterpènes.* Les variations structurales dans cette série sont de même nature que dans le cas précédent : carbures, alcools, cétones étant les plus fréquents mais il peut aussi y avoir des aldéhydes et des esters. Il convient de remarquer que l'allongement de la chaîne accroît le nombre des cyclisations possibles, d'où la très grande variété des structures connues.

#### II.5.2. Composés aromatiques

Les dérivés du phénylpropane sont beaucoup moins fréquents que les précédents. Ce sont très souvent des allyles et propénylphénols, parfois des aldéhydes,

caractéristiques de certaines huiles essentielles. On peut également rencontrer dans les huiles essentielles des composés en  $C_6-C_{11}$ .

### II.5.3. Composés d'origines diverses

Compte tenu de leur mode de préparation, les huiles essentielles peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, entraînés lors de l'hydrodistillation : carbures (linéaires et ramifiés, saturés ou non, rarement spécifiques), acides ( $C_3$  à  $C_{10}$ ), alcools, aldéhydes, esters acycliques, lactones. Les produits azotés ou soufrés, caractéristiques des produits torréfiés, grillés ou rôtis, sont exceptionnels dans les produits naturels.

Dans les concrètes, il n'est pas rare de trouver des produits de masse moléculaire plus importante, non entraînés à la vapeur d'eau : homologues des phénylpropanes, diterpènes, coumarines, etc.

## II.6. Production des huiles essentielles à Madagascar et leur exportation

### II.6.1 Production des huiles essentielles à Madagascar

Madagascar est un pays qui regorge de plantes aromatiques. De ce fait, il produit des huiles essentielles très diversifiées dont en voici quelques exemples :

Tableau 7 : Quelques huiles essentielles produites à Madagascar

Feuilles	Niaouli ( <i>Malaleuca viridiflora</i> ou <i>M. quinquenervia</i> ) ; Eucalyptus ( <i>Eucalyptus citriodora</i> et <i>E. globulus</i> ); Cannelle ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> ); Girofle ( <i>Eugenia caryophyllus</i> ); Basilic tropical ( <i>Ocimum basilicum</i> )
Herbe	Palmarosa ( <i>Cymbopogon martinii</i> )
Rhizomes	Gingembre ( <i>Zingiber officinalis</i> ); Curcuma frais ( <i>Curcuma longa</i> )
Racines	Vétiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> )
Fleurs	Ylang-ylang ( <i>Cananga odorata</i> )
Fruits	Baies roses ( <i>Schinus terebenthifolius</i> ); Poivre noir ( <i>Piper nigrum</i> )
Clous	Girofle ( <i>Eugenia caryophyllus</i> )
Ecorces	Cannelle ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> ); Katrafay ( <i>Cedrelopsis grevei</i> )

Source : SMADJA J. [31], DGINSTAT/D S E/SSES/COMEXT/février 2008

II.6.2 Evolution de l'exportation des huiles essentielles allant de l'année 2005 à l'année 2009

Tableau 8: Poids net (en kg) et valeur FOB (en Ariary) de l'exportation d'huile essentielle à Madagascar de 2005 à 2009

	2005	2006	2007	2008	2009*
Poids net [kg]	1 548 913	1 719 663	1 863 857	1 413 024	679 479
Valeur FOB [Ariary]	14 809 569 434	22 817 284 754	25 189 525 474	24 595 010 026	10 780 267 419

Source : DGINSTAT/D S E/S S E S/COMEXT/JANVIER 2010

2009\* : valeur pour seulement le 1<sup>er</sup> trimestre de l'année, les autres valeurs sont encore indisponibles.

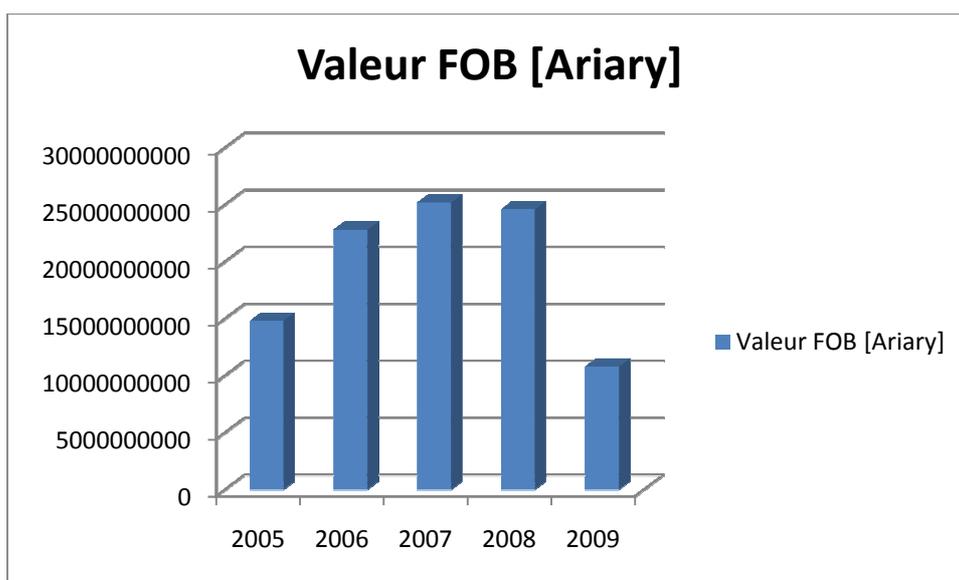


Figure 9: Valeur FOB (en Ariary) de l'exportation des huiles essentielles à Madagascar de 2005 à 2009

L'huile essentielle de gingembre représente moins de 0.6 % dans la totalité des exportations des huiles essentielles. Cette valeur est encore très faible, on peut en déduire que la production en huile essentielle de gingembre à Madagascar est faible.

## CHAPITRE III : TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'HUILE ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE ROSCOE*

Les travaux antérieurs qu'on rapportera dans ce chapitre porteront sur les caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe ainsi que sa composition chimique, ses propriétés et ses applications.

### III.1. Localisation de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe [6]

L'huile essentielle est contenue dans des glandes réparties dans tout le rhizome mais principalement dans le parenchyme cortical externe.

### III.2. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* à Madagascar et dans le monde

Les propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale*) à Madagascar et dans le monde sont données dans les tableaux suivants.

Tableau 9 : Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* de Madagascar

	[26]	[15]
Aspect	Liquide homogène limpide	-
Couleur	Jaune claire translucide à brun clair	Jaune à jaune pâle
Odeur	Epicée, camphrée, citronnée et piquante	Moins caractéristique à caractéristique du gingembre mais avec un caractère floral

Source : KOROCH A. [15], RANDRIANARIVONY L.L. [26]

Tableau 10: Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* dans le monde

	[30]	[43]	[13]
	Inde	Sri Lanka	Nigéria
Aspect	-	Liquide limpide, mobile	Liquide
Couleur	Jaune claire	jaune	Jaune brunâtre
Odeur	Odeur agréable	Odeur caractéristique	-

Source : SINGH G. et al. [30], [43], IBRAHIM T.A. et al. [13]

En général, l'aspect, la couleur et l'odeur de l'huile essentielle de gingembre sont à peu près les mêmes à Madagascar et dans les autres pays.

### III.3 Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* à Madagascar et dans le monde

Les propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* sont données dans les tableaux suivants.

Tableau 11: Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* de Madagascar

	[26]	[15]	[27]
Rendement [%]	0.44	-	0.378
Densité	0.877 (25°C)	0.936	0.915 (15°C)
Indice de réfraction	1.4832 (25°C)	1.4927	1.4903 (20°C)
Pouvoir rotatoire	-48°	11.4°	-6.2°
Point d'éclair	52°C	-	-
Solubilité	Dans l'éthanol (1v/6.3v)	-	
Indice d'acide	2	-	1.512
Indice d'ester	14	-	13.2

Source : KOROCH A. [15], RANDRIANARIVONY L.L [26], RAVAOARISOA M.F [27]

Tableau 12 : Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* dans le monde

Propriétés physico-chimiques	Sri Lanka [43]	Chine [19]	* [16]	Nigéria [13]
Rendement [%]	-	0.58	-	-
Densité	0.876 (20°C)	0.9714 (25°C)	0.877 à 0.886 (15°C)	0.866
Indice de réfraction (à 20°C)	1.488	-	1.489 à 1.494	1.494 (25°C)
Pouvoir rotatoire	-	-0.87°	-26° à -50°	-
Indice d'acide	-	-	Jusqu'à 2	2.1
Indice d'ester	-	-	Jusqu'à 15	-

Source : MAISTRE J.[16], MIYAZAWA M. et al [19], [43], IBRAHIM T.A. et al. [13]

\* : origine inconnue

#### III.4. Composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe dans le monde

Les profils chromatographiques de quelques échantillons d'huile essentielle de *Zingiber officinale* à travers le monde sont regroupés dans le tableau suivant. Ce dernier est classé par indice de Kovats apolaire (IKA) croissant.

Tableau 13 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe dans le monde

N°	Composés	IKA/IKP	Chine [19]	Sri Lanka [43]	Inde [30]	Equateur [29]	Congo [22]
1	2,2,4-Triméthylheptane	inconnu	0.5				
2	Cis-3-Hexenol	833/1382	tr				
3	Hexanol	845/1346	tr				
4	2-Heptanone	>900/1182		0.04			
5	2-Heptanol	>900/1216	0.6		0.1		
6	Tricyclène	920/1020		0.13	tr	0.25	
7	<b>α-Pinène</b>	931/1022	0.2	<b>2.11</b>	0.8	<b>3.31</b>	
8	<b>Camphène</b>	943/1066	<b>1.4</b>	<b>5.93</b>	<b>3.0</b>	<b>9.98</b>	
9	6-Méthyl-5-Heptèn-2-one	963/1337	0.4	0.50	0.1		

10	Sabinène	964/1120		0.08	tr		
11	$\beta$ -Pinène	970/1110	tr	0.23		0.52	
12	$\beta$ -Myrcène	979/1159	0.7	0.75	0.5	0.92	
13	Octanal	980/1282			tr		
14	$\alpha$ -Phellandrène	997/1164	0.3	0.45	0.1	0.41	
15	$\delta^3$ -Carène	1005/1147	tr		tr		
16	$\alpha$ -Terpinène	1008/1178	tr				
17	p-Cymène	1011/1268	0.1	0.08	0.1		
18	<b>Limonène</b>	1020/1199	<b>1.0</b>		<b>0.5</b>		
19	<b>1,8-Cinéole</b>	1020/1209	<b>6.2</b>	<b>Co-élués</b>	<b>1.9</b>		0.6
20	<b><math>\beta</math>-Phellandrène</b>	1021/1208	<b>3.1</b>		<b>9.23</b>	<b>1.4</b>	<b>7.67</b>
21	Cis-Ocimène	1025/1232				0.39	
22	$\gamma$ -Terpinène	1047/1243	tr				
23	2-Nonanone	1070/1384			tr		tr
24	Terpinolène	1078/1280	0.3	0.19	0.1		
25	<b>Linalol</b>	1081/1544	<b>1.7</b>	0.24	0.9		0.8
26	Camphre	1123//1517	0.1		tr		tr
27	Citronellal	1133/1481			0.3		
28	Hydrate de camphène	1133/1596	0.4				
29	Isobornéol	1143/1652	tr				
30	Néo-isopulegol	1145/1559	0.6				
31	<b>Bornéol</b>	1148/1698	<b>5.4</b>	0.89	<b>2.1</b>	<b>1.02</b>	<b>2.4</b>
32	Cryptone	1160/1661			0.1		
33	Terpinèn-4-ol	1161/1600	0.8	0.15	0.1		0.4
34	<b><math>\alpha</math>-Terpinéol</b>	1179/1700	<b>5.6</b>	0.39	0.9	0.48	0.9
35	Décanal	1186/1499		0.16			
36	<b>Citronellool</b>	1208/1764	0.1	0.09	0.7	0.37	<b>2.0</b>
37	<b>Nérol</b>	1211/1778	<b>7.1</b>	0.20		0.63	0.6
38	<b>Néral (citra)</b>	1214/1679		0.13	<b>7.4</b>		<b>3.5</b>
39	<b>Géranol</b>	1232/1837	<b>9.4</b>		<b>3.4</b>	<b>1.11</b>	<b>1.5</b>
40	<b>Géranial (citra)</b>	1237/1731	<b>9.9</b>	0.22	<b>25.9</b>	0.17	<b>6.6</b>
41	Acétate de bornyle	1269/1579	0.4			0.29	
42	Endo-bornylacetate	Inconnu			0.3		
43	<b>2-Undécanone</b>	1273/1592	<b>1.6</b>	0.21	0.2		
44	<b>Acétate de menthyle</b>	1294/1598	<b>1.0</b>				
45	Acétate de citronellyle	1331/1657	0.3				
46	$\delta$ -Elémène	1337/1467		0.10		0.25	

47	$\alpha$ -Cubébène	1350/1452				0.84	
48	Acétate de géranyle	1358/1748	0.2		0.6		
49	Isolédène	1372/1462		0.20			
50	Cyclosativène	1376/1483		0.08			
51	$\alpha$ -Copaène	1379/1488	tr	0.54	0.2		
52	$\beta$ -Cubébène	1387/1537		0.18			
53	<b><math>\beta</math>-Elémène</b>	1388/1589		0.80	0.2	<b>1.19</b>	
54	n-dodecanal	1388/1707					0.3
55	Cis- $\alpha$ -Bergamotène	1411/1562		0.12	0.1	0.36	
56	$\beta$ -Ylangène	1420/1573				0.68	
57	$\beta$ -Caryophyllène	1424/1591	0.2	0.08			
58	Cis- $\beta$ -Farnésène	1424/1634		0.38	0.4	0.67	
59	$\beta$ -Copaène	1427/1581				0.43	
60	Patchoulène	1441/-		0.21			
61	Aromadendrène	1447/1611	0.2			0.53	
62	Trans- $\beta$ -Farnésène	1458/-			0.2		0.8
63	Trans-Muuro-la-4(14), 5-diène	Inconnu			0.9		
64	$\gamma$ -Elémène	1461/1637				0.91	
65	Allo-Aromadendrène	1464/1635				0.53	
66	$\beta$ -ionone	1466/1936	0.2				
67	<b><math>\gamma</math>-Muuro-lène</b>	1471/1681			0.5	<b>1.81</b>	<b>3.0</b>
68	$\delta$ -Sélinène	Inconnu			0.6		
69	<b><math>\alpha</math>-Curcumène</b>	1471/1762	0.2	<b>8.22</b>			<b>17.8</b>
70	<b>Ar-Curcumène</b>	1471/1769			<b>6.6</b>	<b>8.93</b>	
71	<b>Germacrène D</b>	1480/1704		<b>1.28</b>			
72	$\beta$ -Sélinène	1483/1712	0.1				
73	<b><math>\alpha</math>-Zingibérène</b>	1489/1717	<b>21.8</b>	<b>31.43</b>	<b>9.5</b>	<b>23.94</b>	<b>15.8</b>
74	$\beta$ -Zingibérène	Inconnu					<b>6.9</b>
75	$\alpha$ -Sélinène	1491/1707	0.1				
76	Isobutyrate de géranyle	1494/1785		0.44			
77	$\alpha$ -Muuro-lène	1495/1720	0.4				
78	<b><math>\gamma</math>-Cadinène</b>	1496/1752				<b>3.82</b>	
79	$\beta$ -Himachalène	1497/1705	0.4				
80	<b><math>\beta</math>-Bisabolène</b>	1500/1720	<b>7.9</b>	<b>12.31</b>		<b>11.4</b>	<b>8.1</b>
81	<b>(E,E)-<math>\alpha</math>-Farnésène</b>	1501/1744			<b>7.6</b>		
82	Cis- $\gamma$ -Bisabolène	1509/1732				0.61	
83	Sesquithujène	Inconnu				0.51	0.3

84	Calaménène	1510/1826	tr				
85	δ-Cadinène	1516/1752			0.1		
86	<b>β-Sesquiphellandrène</b>	1516/1765	0.4	<b>12.17</b>	<b>5.1</b>	<b>10.9</b>	<b>10.5</b>
87	7-Epi-α-Sélinène	1517/-			0.3		
88	Cis-Nérolidol	1518/1997	0.7	0.36		0.51	
89	Trans-γ-Bisabolène	1526/1759			0.2		
90	Trans-cadina-1(6),4-diène	1527/1769			0.1		
91	Trans-Sesquisabinène hydrate	1530/1980			0.7		
92	Elémol	1536/2066	0.2		0.5		
93	<b>Trans-Nérolidol</b>	1547/2031			<b>1.5</b>		
94	<b>Germacrène B</b>	1554/1816		<b>2.22</b>	0.3		
95	<b>β-Eudesmol</b>	1646/2218	0.8	0.15	<b>1.0</b>	0.23	0.7
96	β-Bisabolol	1652/2140	0.2				
97	Cis-Sesquisabinène hydrate	1565/2075	0.4				
98	Guaiol	1584/2077	0.1		0.6		
99	<b>Zingibérénol</b>	1603/2100	0.3		<b>1.7</b>		
100	α-Eudesmol	1630/2208			0.7		
101	α-Cadinol	1639/2220	0.1				
102	9-Oxonérolidol	Inconnu	0.7				
103	Juniper camphre	1682/2300	0.1				
104	Acorenone B	1685/-			0.3		
105	(E,E) Farnésal	1716/2259			0.2		

Source : MIYAZAWA M. et al. [19], OUAMBA J.M. [22], SACCHETTI G. et al. [29], SINGH G. et al. [30], [43].

Pour faciliter l'interprétation de ces résultats, nous allons faire une récapitulation des molécules majeures contenues dans chaque échantillon d'huile essentielle dans le monde (>1%).

N°	<i>Sri Lanka</i>	[%]	N°	<i>Equateur</i>	[%]	N°	<i>Chine</i>	[%]
1	$\alpha$ -zingibérène	31.43	1	$\alpha$ -zingibérène	23.94	1	$\alpha$ -zingibérène	21.8
2	$\beta$ -bisabolène	12.31	2	$\beta$ -bisabolène	11.4	2	Géranial	9.9
3	$\beta$ -sesquiphellandrène	12.17	3	$\beta$ -sesquiphellandrène	10.9	3	Géranol	9.4
4	1.8-cinéole+ $\beta$ -phellandrène	9.23	4	Camphène	9.98	4	$\beta$ -bisabolène	7.9
5	$\alpha$ -curcumène	8.2	5	Ar-curcumène	8.93	5	Nérol	7.1
6	Camphène	5.93	6	$\beta$ -phellandrène	7.67	6	$\alpha$ -terpinéol	5.6
7	Germacrène B	2.22	7	$\gamma$ -cadinène	3.82	7	1.8-cinéole	6.2
8	$\alpha$ -pinène	2.11	8	$\alpha$ -pinène	3.31	8	Bornéol	5.4
9	Germacrène D	1.28	9	$\gamma$ -muurolène	1.81	9	$\beta$ -phellandrène	3.1
10			10	$\beta$ -élémyène	1.19	10	Linalol	1.7
11			11	Geraniol	1.11	11	2-Undécane	1.6

N°	<i>Congo</i>	[%]	N°	<i>Inde</i>	[%]
1	$\alpha$ -curcumène	17.8	1	Géranial	25.9
2	$\alpha$ -zingibérène	15.8	2	$\alpha$ -zingibérène	9.5
3	$\beta$ -sesquiphellandrène	10.5	3	$\alpha$ -farnésène	7.6
4	$\beta$ -bisabolène	8.1	4	Nérol	7.4
5	$\beta$ -zingibérène	6.9	5	Ar-curcumène	6.6
6	Géranial	6.6	6	$\beta$ -sesquiphellandrène	5.1
7	Nérol	3.5	7	Géranol	3.4
8	$\gamma$ -muurolène	3.0	8	Camphène	3.0
9	Bornéol	2.4	9	Bornéol	2.1
10	Citronellol	2.0	10	1.8-cinéole	1.9
11	Géranol	1.5	11	Trans-Nérolidol	1.5

On a remarqué que la plupart des pays présentent l' $\alpha$ -zingibérène comme le produit majoritaire de leurs huiles essentielles. Tandis que celles du Congo et de l'Inde ont respectivement l' $\alpha$ -curcumène et le géranial comme constituant majeur, l' $\alpha$ -zingibérène ne vient qu'en deuxième position.

### III.5. Composition chimique de : l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe à Madagascar

Nous avons trouvé peu d'ouvrages parlant de la composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* de Madagascar. Nous rapportons alors trois profils chromatographiques : deux profils effectués par KOROCH A. et al. [15] et un profil par RANDRIANARIVONY L.L [26].

#### III.5.1. Profils chromatographiques effectués par KOROCH A. et al.

Tableau 14 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* de Madagascar par KOROCH A. et al.

Composés	IKA/IKP	A	B
$\alpha$ -pinène	931/1022	<b>7.4</b>	0.1
Camphène	943/1066	<b>22.8</b>	1.0
Néral	1214/1679	2.4	<b>6.4</b>
1,8-Cinéole	1020/1209	<b>8.7</b>	2.0
$\beta$ -phellandrène	1021/1208	<b>8.2</b>	0.9
Géranial	1237/1731	4.2	<b>14.6</b>
Acétate de géranyle	1358/1748	-	<b>8.3</b>
ar-curcumène	1471/1769	<b>15.3</b>	<b>7.7</b>
$\alpha$ -zingiberène	1489/1717	5.2	<b>22.9</b>
$\beta$ -bisabolène	1500/1720	<b>7.4</b>	<b>8.5</b>
$\beta$ -sesquiphellandrène	1516/1765	6.3	6.5

Source : KOROCH A. et al [15]

Deux échantillons A et B d'huile essentielle de rhizomes frais de *Zingiber officinale* de Madagascar ont été analysés par Korocho A. et al.

L'échantillon A possède une grande teneur en camphène (22.8 %) et en ar-curcumène (15.3 %) et une plus faible teneur en  $\alpha$ -zingiberène (5.2 %).

L'échantillon B a montré une teneur plus faible en camphène (1.0%) et une grande teneur en citral (géranial 14.6 %+ néral 6.4 % = 21 %) et en  $\alpha$ -zingiberène (22.9%) ;

dans ce même échantillon on a observé la présence d'acétate de géranyle (8.3 %) absent dans l'échantillon A, qui est responsable de la note florale.

Cet article a aussi mentionné l'intensité de la note citronnée de l'huile essentielle de gingembre de Madagascar et que plus les rhizomes sont frais plus la note citronnée de l'huile est intense.

### III.5.2. Profil chromatographique effectué par RANDRIANARIVONY L.L.

La composition de l'huile essentielle de gingembre, issue de rhizomes frais provenant de Beforona et récoltés en mois d'Août, est donnée dans l'ouvrage de RANDRIANARIVONY L.L . Les résultats sont rapportés dans le tableau suivant.

Tableau 15: Composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe de Madagascar (Beforona, mois d'Août)

N°	Composés	IKA/IKP	[%]
1	<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	931/1022	<b>5.15</b>
2	<b>Camphène</b>	943/1066	<b>13.82</b>
3	Sabinène	964/1120	<b>1.54</b>
4	$\beta$ -pinène	970/1110	0.52
5	<b><math>\beta</math>-myrcène</b>	979/1159	0.52
6	p-cymène	1011/1268	0.38
7	<b>Limonène</b>	1020/1199	<b>2.72</b>
8	<b>1,8-cinéole</b>	1020/1209	<b>6.59</b>
9	<b><math>\beta</math>-phellandrène</b>	1021/1208	<b>9.06</b>
10	Bornéol	1148/1698	<b>1.30</b>
11	Terpinolène	1078/1280	0.59
12	Linalol	1081/1544	0.46
13	<b>Néral (citral)</b>	<b>1214/1679</b>	<b>2.68</b>
14	<b>Géranial (citral)</b>	1237/1731	<b>8.04</b>
15	Acétate de citronellyle	1331/1657	<b>3.51</b>
16	Eugénol	1337/2176	0.81
17	Acétate de géranyle	1358/1748	<b>1.39</b>

18	$\beta$ -caryophyllène	1424/1591	0.45
19	Aromadendrène	1447/1611	0.49
20	$\alpha$ -humulène	1456/1665	<b>1.62</b>
21	<b>Ar-curcumène</b>	1471/1769	<b>6.66</b>
22	<b><math>\beta</math>-sélinène</b>	1483/1712	<b>2.38</b>
23	<b><math>\alpha</math>-zingibérène</b>	1489/1717	<b>20.92</b>
24	<b><math>\beta</math>-bisabolène</b>	1500/1720	<b>3.72</b>
25	$\alpha$ -farnésène	1501/1744	<b>3.40</b>
26	$\beta$ -sesquiphellandrène	1516/1765	0.57
27	Oxyde de caryophyllène	1576/1980	<b>1.49</b>

Source : RANDRIANARIVONY L.L. [26]

On remarque que c'est l' $\alpha$ -zingibérène (20.92%) qui est le constituant majeur de l'huile essentielle de gingembre, suivi du camphène (13.82%), du  $\beta$ -Phellandrène (9.06%), du géraniol (8.04%) et de l' ar-curcumène (6.66%).

Ainsi ces trois profils de l'huile essentielle de gingembre de Madagascar permet de constater que le principal constituant de cette huile est parfois l' $\alpha$ -zingibérène ou le camphène.

Ces différences dans la composition chimique de l'huile essentielle issue d'une même plante peuvent être dues aux conditions écologiques subies par la plante, à la variété de la plante ou à d'autres facteurs.

### III.6. Propriétés et applications de l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale*)

#### III.6.1 Propriétés [1] [3] [10] [11] [20] [23] [29] [30]

On attribue à l'huile essentielle les propriétés suivantes : antioxydante, antimicrobienne, antifongique (champignons :le *Fusarium moniliforme* , l'*Aspergillus niger* , l'*Aspergillus solani* , l' *Aspergillus oryzae* et l' *Aspergillus flavus*, l'*Aspergillus fumigatus*), antibactérienne (bactéries :*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus* et *Listeria monocytogenes*), tonique digestive, stomachique, carminative, tonique sexuelle, aphrodisiaque, antalgique, anticatarrhale, expectorante, épilatoire et préventive contre les nausées et vomissements postopératoires.

On attribue aussi à l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale*) une activité insecticide (insectes :*Sitophilus zeamais* et *Callosobruchus maculatus*).

#### III.6.2 Applications

L'huile essentielle de gingembre s'utilise en industrie alimentaire en tant que parfum. Ainsi on le retrouve dans les boissons, les pâtisseries, les crèmes glacées, la confiserie, les viandes, etc. Elle peut aussi être utilisée pour conserver des huiles comestibles et plusieurs autres produits alimentaires et éviter la pourriture microbienne.

Elle sert dans l'industrie de parfum et l'industrie cosmétique. L'huile essentielle de gingembre entre dans la formulation de savons et des parfums.

L'huile essentielle de gingembre représente un grand intérêt dans le domaine thérapeutique surtout en aromathérapie. Elle est conseillée pour traiter les odontalgies, les météorismes, les inappétences, les dyspepsies, les constipations, les impuissances, les rhumatismes et les bronchites chroniques. Ainsi, on voit que l'huile essentielle de gingembre peut guérir une grande gamme de maladies.

## DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

## CHAPITRE IV : ETUDE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE* ROSCOE

### IV.1. Matériel végétal

Les rhizomes proviennent du marché local d'Anosibe. Ces rhizomes ont été collectés dans la région Est de l'île. Ce sont des rhizomes matures et frais. Tous les échantillons sont préparés pour l'hydrodistillation dans leur état encore frais sauf un échantillon que nous avons partiellement séché à température ambiante pendant trois semaines.

### IV.2. Extraction de l'huile essentielle

Nous avons procédé à l'hydrodistillation simple pour l'extraction de l'huile essentielle. Et le dispositif d'extraction utilisé est un hydrodistillateur de laboratoire constitué par un ballon de 6 litres, un chauffe-ballon, un réfrigérant et un essencier (figure 10).

Le matériel végétal est introduit dans le ballon. Un volume d'eau immergeant complètement ce végétal est ensuite ajouté, avant de commencer la distillation qui dure 2 heures à 3 heures de temps. Le principe de l'hydrodistillation a déjà été décrit précédemment dans la première partie de ce livre, au chapitre II. L'huile essentielle obtenue est conservée dans un flacon préalablement taré. Ce flacon d'huile essentielle est rangé dans un endroit frais et à l'abri de la lumière avant analyse ou utilisation. La masse de l'huile est déterminée pour le calcul du rendement.



Figure 10: hydrodistillateur de laboratoire

## IV.3. Rendement

Le rendement d'extraction est le rapport de la quantité d'huile essentielle recueillie après distillation sur la quantité de la biomasse, exprimé en pourcentage. On peut déterminer le rendement par la formule suivante :

$$R = \frac{m(HE)}{m(MV)} \times 100$$

Où

R : est le rendement en HE exprimé en pourcentage

m (HE) : est la masse de l'HE extraite exprimée en grammes

m (MV) : est la masse de la matière végétale exprimée en grammes.

Nous avons effectué une petite expérience pour savoir sous quelle forme a-t-on le meilleur rendement pour l'extraction de l'huile essentielle de rhizome de *Zingiber officinale*. Pour cela, nous avons distillé les rhizomes de gingembre sous trois (3) états : entiers, tranchés en lamelles et râpés à l'aide d'une râpe de cuisine. Les résultats de cette expérience sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 16 : Rendements d'extraction selon l'état des rhizomes de *Zingiber officinale* Roscoe

<i>Etat des rhizomes</i>	<i>Masse des rhizomes [g]</i>	<i>Durée de distillation [h]</i>	<i>Quantité d'HE recueillie [g]</i>	<i>Rendement [%]</i>
Entiers	1000	2	1	0.1
En lamelles	700	2	1	0.143
Râpés	642	2	3	0.467

Nous pouvons en déduire que les rhizomes râpés permettent à l'huile essentielle de sortir plus facilement ; on pourrait aboutir au même rendement avec les rhizomes entiers ou en lamelles mais il faudrait une durée de distillation plus longue. Donc, pour toutes les prochaines extractions, afin d'obtenir le meilleur rendement en un temps minimum, nous râperons toujours les rhizomes à l'aide d'une râpe de cuisine.

Donc, d'autres extractions ont été effectuées (avec des rhizomes râpés) au laboratoire. Ainsi nous pouvons donner une valeur moyenne au rendement.

Tableau 17: rendement moyen de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe

Quantité de la biomasse (râpés) [g]	Etat du végétal	Durée de distillation [minutes]	Quantité d'HE [g]	Rendement [%]	Rendement moyen
642	Frais	120	3.0000	0.4670	0.4081
2000	Frais	145	6.9851	0.3493	

Le rendement moyen d'extraction pour l'huile essentielle de *Zingiber officinale* est égal à 0.4081; nous pouvons constater que ce rendement est assez faible.

#### IV.4. Caractéristiques organoleptiques

Nos impressions visuelle, olfactive et gustative sur l'huile essentielle obtenue sont rapportées dans le tableau suivant.

Tableau 18: Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe obtenue

Aspect	Liquide mobile, limpide
Couleur	Jaune très claire
Odeur	Caractéristique, rappelant celle du rhizome de gingembre
saveur	Amer et très légèrement piquant

## IV.5. Détermination des indices physico-chimiques

## IV.5.1. Indices physiques

IV.5.1.1. Indice de réfraction  $\eta$ 

L'indice de réfraction  $\eta$  d'une huile essentielle est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, passant de l'air dans l'huile essentielle maintenue à une température constante.

$$\eta = \frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_r}$$

Où

$\sin \alpha_i$  : angle d'incidence

$\sin \alpha_r$  : angle de réfraction

La longueur d'onde spécifiée est  $(589.3 \pm 0.3)$  nm, correspondant aux radiations  $D_1$  et  $D_2$  du spectre de sodium.

La température de référence est 20°C, sauf pour les huiles essentielles qui ne sont pas à l'état liquide à cette température. Dans ce cas, adopter les températures de 25°C ou de 30°C, suivant les points de fusion des huiles essentielles considérées.

On procède à la détermination de cet indice en se reportant à la norme NF T 75-112 (voir Annexe 1).

Nous avons trouvé un indice de réfraction égale à 1.4703 à 20°C ; cette valeur est légèrement inférieure à celles trouvées dans la bibliographie.

Tableau 19: indice de réfraction de l'HE de *Zingiber officinale* Roscoe étudiée

<i>Indice de réfraction</i>	<i>moyenne</i>
1.4700	1.4703
1.4690	
1.4720	

#### *IV.5.1.2. Pouvoir rotatoire*

Le pouvoir rotatoire d'une huile essentielle symbolisé par  $\alpha_D^t$  : c'est l'angle exprimé en milliradians et/ou degrés d'angle, dont tourne le plan de polarisation d'une radiation lumineuse de longueur d'onde  $589.3\text{nm} \pm 0.3\text{nm}$ , correspondant aux raies D du sodium, lorsque celle-ci traverse une épaisseur de 100 mm de l'huile essentielle dans des conditions déterminées de température. Si le mesurage est effectué sur une épaisseur différente, la valeur de  $\alpha_D^t$  doit être ramenée, par le calcul, à une épaisseur de 100 mm.

On procède à la détermination du pouvoir rotatoire en se reportant à la norme NF T 75-113 (voir Annexe 2).

Nous avons trouvé pour le pouvoir rotatoire une valeur égale à  $-2.75^\circ$ ; nous remarquons que le pouvoir rotatoire varie beaucoup dans la bibliographie, quelquefois la valeur est négative quelquefois positive et la valeur que nous avons trouvée est négative.

#### *IV.5.1.3. Densité*

La densité relative à  $20^\circ\text{C}$  d'une huile essentielle est le rapport de masse d'un certain volume d'une huile essentielle à  $20^\circ\text{C}$ , à la masse d'un égal volume d'eau à  $20^\circ\text{C}$ . Cette grandeur est sans dimension et son symbole est :  $d_{20}^{20}$ .

La méthode utilisée pour déterminer la densité relative est donnée dans l'Annexe 3.

Nous avons trouvé une densité relative égale à 0.9220. Cette valeur correspond à la bibliographie.

### IV.5.2 Indices chimiques

#### *IV.5.2.1 Indice d'acide IA*

L'indice d'acide, I.A. est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libres contenus dans 1 g d'huile essentielle.

La méthode employée pour la détermination de l'indice d'acide est donnée dans l'Annexe 4.

L'huile essentielle de *Zingiber officinale* a une IA égale à 0.57 ; nous pouvons dire que notre huile contient très peu d'acide. Cette valeur est faible par rapport à la bibliographie.

#### IV.5.2.2 Indice d'ester

L'indice d'ester, I.E. est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libérés par l'hydrolyse des esters contenus dans 1g d'huile essentielle.

La méthode utilisée pour la détermination de l'indice d'ester est donnée dans l'Annexe 5.

Pour l'IE nous avons trouvé une valeur de 21.24 ; cette valeur confirme que l'HE de gingembre présente des composés à l'état d'ester.

Nous pouvons résumer les propriétés physico-chimiques de notre huile à l'aide du tableau suivant.

Tableau 20: propriétés physico-chimiques de l'HE de *Zingiber officinale* Roscoe étudiée

Indice de réfraction à 20°C	1.4703
Pouvoir rotatoire	- 2.75°
Densité à 20°C	0.9220
Indice d'acide I.A	0.57
Indice d'ester I.E	21.24

## IV.6. Analyse chromatographique de l'huile essentielle obtenue

### IV.6.1. Matériel et méthode

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est la méthode la plus courante et efficace pour l'identification de la composition chimique des huiles essentielles. La détermination des proportions respectives des diverses molécules est obtenue par chromatographie en phase gazeuse couplée à l'ionisation de flamme (CPG/DIF).

- Principe de fonctionnement

En CPG, l'échantillon est vaporisé dans l'injecteur avant de passer dans colonne (phase stationnaire). L'élution est assurée par un flux de gaz inerte (qui sert de phase mobile). Dans ce type de chromatographie, la colonne est montée dans un four dont la température peut être contrôlée à quelque dixième de degré. L'identification des différents composés se fait au moyen d'un détecteur à ionisation de flamme.

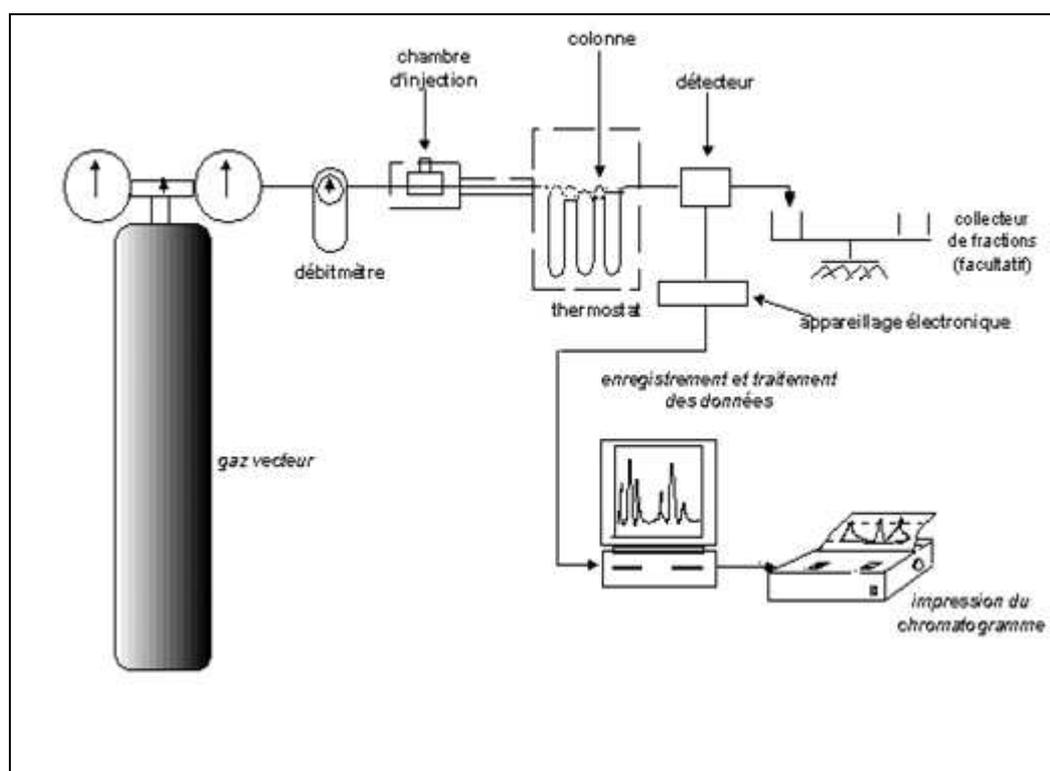


Figure 11: Schéma de fonctionnement d'un chromatographe en phase gazeuse

- Matériel utilisé et conditions opératoires

Les analyses chromatographiques de nos huiles essentielles ont été effectuées sur un chromatographe type GC 8000 Series muni d'un détecteur à ionisation de flamme DIF et d'un injecteur à mode split. La colonne utilisée est du type CP-WAX 52 CB de 30 m de long et de 0,25  $\mu\text{m}$  de diamètre intérieur (diamètre de la phase stationnaire). La température de l'injecteur est de 255°C ; le programme de température appliqué est de 50°C à 250°C réglée à monter à raison de 5°C/min. Le gaz vecteur est de l'azote (pression : 0,44 bar). La flamme du détecteur est entretenue par un mélange

hydrogène/ air. La méthode d'identification des composés présents dans l'huile essentielle est basée sur l'étude comparative entre les indices de rétention préalablement calculés avec les EMAG (esters méthyliques d'acide gras) et les indices de rétention de la banque de données de l'IMRA. La méthode de calcul des indices de rétention est donnée dans l'Annexe 6.

Cependant, nous avons rangé les constituants de l'huile essentielle suivant les indices de Kovats apolaire croissant. La méthode de calcul des indices de Kovats est aussi donnée dans l'Annexe 7.



Figure 12 : Four (image à gauche) muni d'un pupitre de commande servant à programmer les conditions d'analyse et colonne capillaire (à droite) montée dans le four.

#### IV.6.2. Composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale*

Tableau 21: Composition chimique des huiles essentielles de rhizomes frais et partiellement séché de *Zingiber officinale* Roscoe

N°	Composés	IKA/IKP	Frais	Partiellement séché
1	$\alpha$ -thujène	922/1023	0,214	0,194
2	<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	931/1022	<b>3,436</b>	<b>3,832</b>
3	<b>Camphène</b>	943/1066	<b>13,27</b>	<b>12,167</b>
4	Sabinène	964/1120	0,083	0,087

5	$\beta$ -pinène	970/1110	0,469	0,474
<b>6</b>	<b><math>\beta</math>-myrcène</b>	979/1159	<b>1,425</b>	<b>1,898</b>
7	$\delta^3$ -carène	1005/1147	0,043	0,058
8	$\alpha$ -terpinène	1008/1178	0,039	-
9	p-cymène	1011/1268	0,085	0,085
<b>10</b>	<b>Limonène</b>	1020/1199	<b>1,533</b>	<b>1,877</b>
<b>11</b>	<b>1,8-cinéole</b>	1020/1209	<b>13,613</b>	<b>12,164</b>
12	$\gamma$ -terpinène	1047/1243	0,029	0,034
13	Terpinolène	1078/1280	0,199	0,254
<b>14</b>	<b>Linalol</b>	1081/1544	<b>1,218</b>	<b>0,767</b>
15	Terpinèn-4-ol	1161/1600	0,232	0,105
<b>16</b>	<b><math>\alpha</math>-terpinéol</b>	1179/1700	<b>2,596</b>	<b>1,69</b>
17	$\beta$ -citronellol	1208/1764	<b>3,27</b>	<b>3,182</b>
18	Néral (citrал)	1214/1679	<b>7,282</b>	<b>7,218</b>
19	Géraniol	1232/1837	<b>1,561</b>	<b>0,601</b>
20	Géranial (citrал)	1237/1731	<b>3,422</b>	<b>3,207</b>
21	Acétate de linalyl	1240/1557	0,109	0,11
22	Eugénol	1337/2176	0,046	0,063
23	Acétate de géranyl	1358/1748	0,302	0,328
24	$\alpha$ -copaène	1379/1488	0,175	0,206
25	$\beta$ -élémente	1388/1589	0,431	0,53
26	$\beta$ -caryophyllène	1424/1591	0,133	0,107
27	Aromadendrène	1447/1611	0,251	0,189
28	$\alpha$ -humulène	1456/1665	0,256	0,271
<b>29</b>	<b>Ar-curcumène</b>	1471/1769	<b>5,884</b>	<b>6,993</b>
30	$\alpha$ -zingiberène	1489/1717	0,707	0,746
<b>31</b>	<b><math>\beta</math>-bisabolène</b>	1500/1720	<b>15,283</b>	<b>17,855</b>
<b>32</b>	<b><math>\alpha</math>-farnésène</b>	1501/1744	<b>10,189</b>	<b>9,726</b>
<b>33</b>	<b><math>\beta</math>-sesquiphellandrène</b>	1516/1765	<b>3,359</b>	<b>4,59</b>
34	$\delta$ -cadinol		0,274	-
35	$\beta$ -Bisabolol	1652/2140	0,094	0,115

Faute de banque de données du laboratoire de l'IMRA, seuls 35 composés ont pu être identifiés.

Pour faciliter notre interprétation, faisons une récapitulation des molécules majeures dans les huiles essentielles (>1%).

N°	Frais	[%]	N°	Partiellement séché	[%]
1	$\beta$ -bisabolène	15,283	1	$\beta$ -bisabolène	17.855
2	1.8-cinéole	13,613	2	Camphène	12.167
3	Camphène	13,27	3	1.8-cinéole	12.164
4	$\alpha$ -farnésène	10,189	4	$\alpha$ -farnésène	9.726
5	Néral	7,282	5	Néral	7.218
6	Ar-curcumène	5,884	6	Ar-curcumène	6.993
7	$\alpha$ -pinène	3,436	7	$\beta$ -sesquiphellandrène	4.59
8	Géranial	3,422	8	$\alpha$ -pinène	3.832
9	$\beta$ -sesquiphellandrène	3.359	9	Géranial	3.207
10	$\beta$ -citronellol	3.27	10	$\beta$ -citronellol	3.182
11	$\alpha$ -terpinéol	2.596	11	$\beta$ -myrcène	1.898
12	Géraniol	1.561	12	Limonène	1.877
13	Limonène	1.533	13	$\alpha$ -terpinéol	1.69
14	$\beta$ -myrcène	1.425	14		
15	Linalol	1.218	15		

On voit que le  $\beta$ -bisabolène est le composé majoritaire de ces échantillons d'huile essentielle de gingembre malgache. En faisant l'étude comparative de ces profils chromatographiques avec ceux de la page 39, on peut dire que c'est l'échantillon de Sri Lanka et l'échantillon de l'Equateur qui ont une teneur en  $\beta$ -bisabolène (12% et 11% respectivement) qui se rapproche assez de celle des échantillons de Madagascar.

Ce qui est caractéristique à ces échantillons de Madagascar c'est leur grande teneur en  $\beta$ -bisabolène et leur très petite teneur en  $\alpha$ -zingiberène (<1%), ce dernier étant pourtant toujours présent en quantité considérable dans le monde (9.5% minimum et 31.43% maximum). Les échantillons de Madagascar sont aussi caractérisés par leur teneur en  $\alpha$ -farnésène (10%) qui est assez importante mais étant absent dans les autres pays sauf en Inde. Les échantillons de Madagascar se caractérisent aussi avec leur teneur en camphène et en 1.8-cinéole (>10%).

La teneur élevée en 1.8-cinéole (13.613%) de l'huile essentielle de gingembre frais de Madagascar confirme sur son utilisation en médecine traditionnelle comme

antitussive, car ce composé a la propriété de stimuler l'activité mucolytique de l'arbre respiratoire [10].

Nous avons vu dans la bibliographie ([15] et [26]) que l'huile essentielle de gingembre malgache a comme constituant majeur soit le camphène soit l' $\alpha$ -zingiberène. Ici nous constatons que c'est le  $\beta$ -bisabolène qui est le composant majoritaire de l'huile. Ainsi nous pouvons déduire que le composé majeur de l'huile essentielle de gingembre de Madagascar peut varier : on a parfois le  $\beta$ -bisabolène comme composé majoritaire de l'huile essentielle sinon le camphène ou encore l' $\alpha$ -zingiberène selon les différentes conditions subies par le rhizome (écologie, variété, etc).

Figure 13 : Chromatogramme n°1: Huile essentielle de rhizomes de gingembre frais

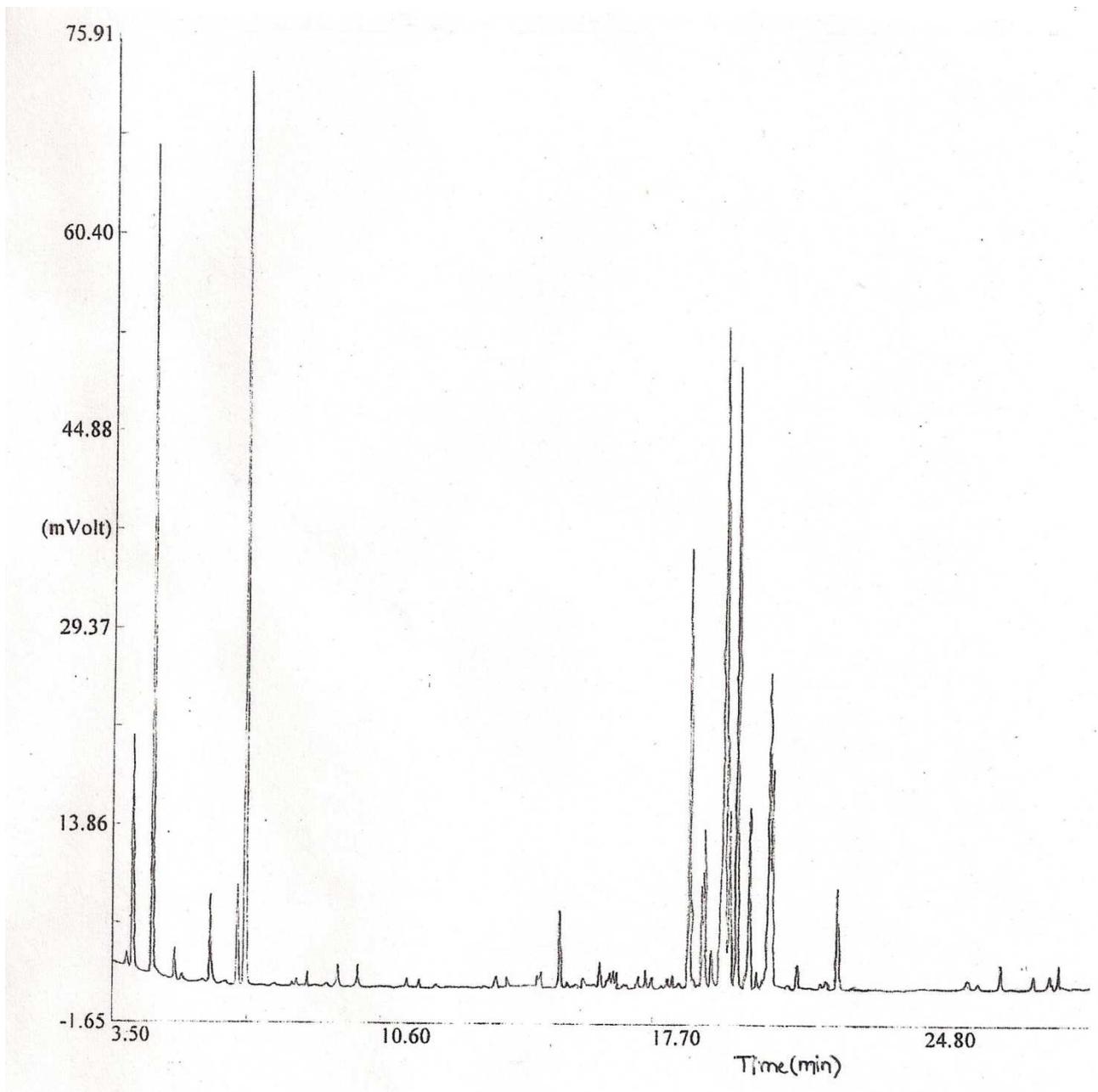
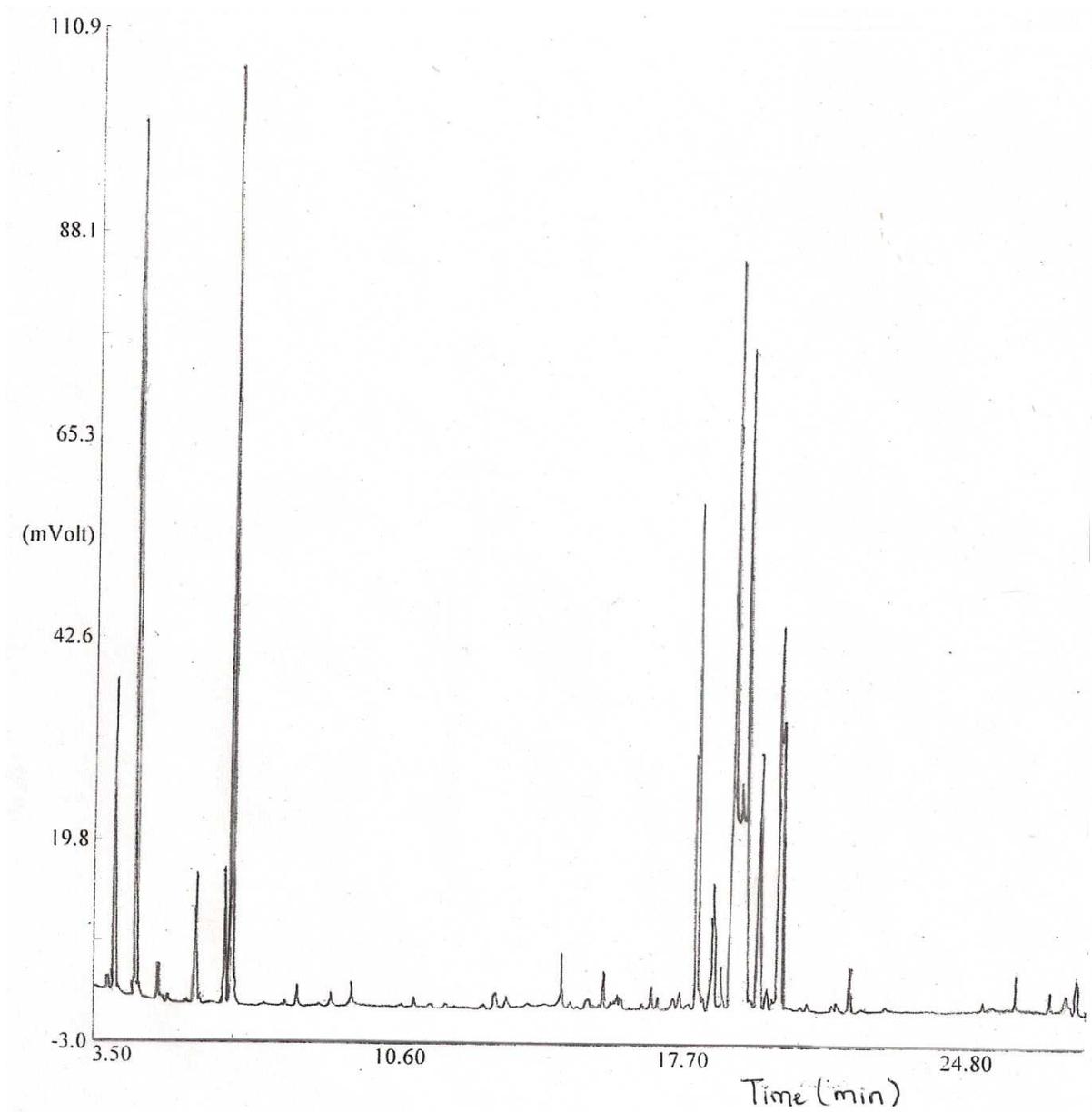


Figure 14: Chromatogramme n°2 : Huile essentielle de rhizomes de gingembre partiellement séchés



## IV.7. Cinétique d'extraction

Nous avons étudié la cinétique d'extraction de l'huile essentielle par entraînement à la vapeur. Pour cela nous avons recueilli l'huile essentielle en fonction du temps dans des tubes à essai. Nous avons effectué au total 15 prises durant l'extraction. Le tableau suivant nous donne les masses cumulées de l'huile essentielle recueillie au cours du temps. Ainsi nous avons pu tracer la courbe représentative de la cinétique d'extraction.

Tableau 22: masses d'huile essentielle recueillie en fonction du temps

<i>Temps [mn]</i>	0	5	10	15	20	25	35	45
<i>Masse d'HE [g]</i>	0	0.6840	1.1765	0.9443	0.6386	0.4483	0.7093	0.4162
<i>Masses cumulées d'HE [g]</i>	0	0.6840	1.8605	2.8048	3.4434	3.8917	4.6010	5.0172

<i>Temps [mn]</i>	55	70	85	100	115	130	145	180
<i>Masse d'HE [g]</i>	0.3337	0.3618	0.3011	0.2007	0.2756	0.1993	0.2957	0.4000
<i>Masses cumulées d'HE [g]</i>	5.3509	5.7127	6.0138	6.2145	6.4901	6.6894	6.9851	7.3851

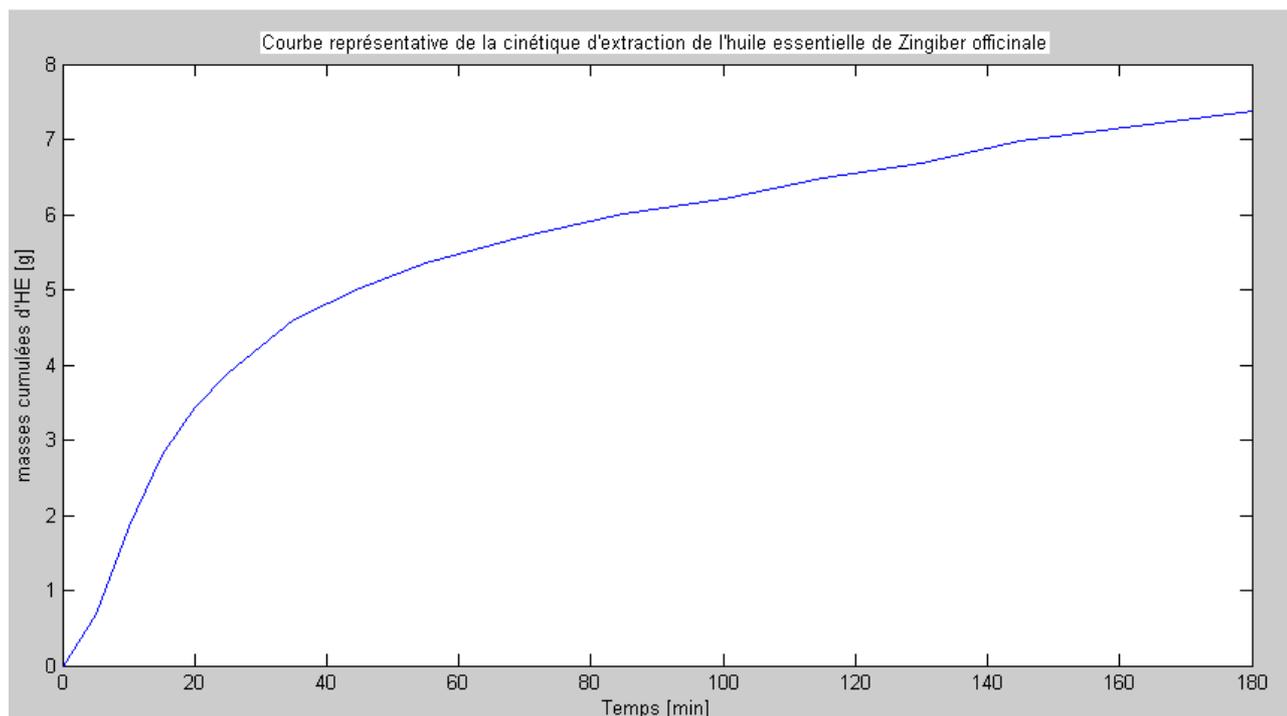


Figure 15: Courbe représentative de la cinétique d'extraction de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe.

Nous pouvons voir sur la courbe une montée vertigineuse de la masse d'huile essentielle pendant les premières 35 minutes et qu'après nous avons une droite presque horizontale qui se traduit par la diminution de la quantité d'huile extraite. Mais on peut encore pousser la durée d'extraction si l'on veut. Nous pouvons déjà en déduire que notre huile est riche en composés très volatils tels que les monoterpènes. Pour confirmer cette idée nous avons effectué des analyses par CPG de certaines prises : la première (recueillie entre 0-5 minutes) appelée « TÊTE », la neuvième (recueillie entre 55-70 minutes) appelée « CŒUR » et la dernière (recueillie entre 145-180 minutes) appelée « QUEUE ».

Les profils chromatographiques et leurs chromatogrammes sont donnés ci-dessous.

Tableau 23: Les profils chromatographiques de TÊTE, CŒUR et QUEUE

N°	Composés	IKA/IKP	TÊTE	CŒUR	QUEUE
1	$\alpha$ -thujène	922/1023	0.202	0.257	0.112
<b>2</b>	<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	931/1022	<b>3.674</b>	<b>4.045</b>	<b>2.063</b>
<b>3</b>	<b>Camphène</b>	943/1066	<b>14.324</b>	<b>13.296</b>	<b>4.433</b>
4	Sabinène	964/1120	0.175	0.101	
5	$\beta$ -pinène	970/1110	0.524	0.43	0.166
<b>6</b>	<b><math>\beta</math>-myrcène</b>	979/1159	<b>2.44</b>	<b>1.564</b>	<b>0.904</b>
7	$\delta^3$ -carène	1005/1147	0.073	0.046	
8	$\alpha$ -terpinène	1008/1178	0.093		
9	p-cymène	1011/1268	0.136	0.044	
<b>10</b>	<b>Limonène</b>	1020/1199	<b>2.496</b>	<b>1.453</b>	<b>0.821</b>
<b>11</b>	<b>1,8-cinéole</b>	1020/1209	<b>23.135</b>	<b>6.593</b>	<b>2.896</b>
<b>12</b>	<b><math>\beta</math>-phellandrène</b>	1021/1208	<b>Co-élués</b>	<b>Co-élués</b>	
13	$\gamma$ -terpinène	1047/1243	0.04	0.03	
14	Terpinolène	1078/1280	0.345	0.226	0.147
15	Linalol	1081/1544	<b>1.048</b>	0.287	0.112
16	Terpinèn-4-ol	1161/1600	0.205	0.224	0.133
<b>17</b>	<b><math>\alpha</math>-terpinéol</b>	1179/1700	<b>1.334</b>	<b>1.053</b>	<b>0.255</b>
<b>18</b>	<b><math>\beta</math>-citronellol</b>	1208/1764	<b>2.361</b>	<b>2.371</b>	<b>3.454</b>
<b>19</b>	<b>Néral (cital)</b>	1214/1679	<b>4.217</b>	<b>4.837</b>	<b>0.866</b>
20	Géraniol	1232/1837	0.608	<b>1.402</b>	0.59

21	<b>Géranial (citral)</b>	1237/1731		<b>3.868</b>	<b>6.446</b>
22	Acétate de linalyl	1240/1557	0.135	0.127	0.198
23	$\delta$ -élémane	1337/1467	0.072	0.101	0.155
24	$\alpha$ -cubébène	1350/1452	0.042	0.034	
25	<b>Acétate de géranyl</b>	1358/1748	<b>1.156</b>	<b>1.912</b>	<b>1.593</b>
26	$\alpha$ -copaène	1379/1488	0.296	0.271	0.395
27	$\beta$ -élémane	1388/1589	0.525	0.734	<b>1.054</b>
28	$\beta$ -caryophyllène	1424/1591	0.172	0.078	0.069
29	Aromadendrène	1447/1611	0.147	0.066	
30	$\alpha$ -humulène	1456/1665	0.172	0.287	0.37
31	$\gamma$ -muurolène	1471/1681	0.176	0.254	0.481
32	<b>Ar-curcumène</b>	1471/1769	<b>5.266</b>	<b>8.966</b>	<b>13.722</b>
33	<b><math>\alpha</math>-zingiberène</b>	1489/1717	<b>14.535</b>	<b>25.175</b>	<b>40.461</b>
34	<b><math>\beta</math>-bisabolène</b>	1500/1720	<b>3.064</b>	<b>Co-élués</b>	<b>Co-élués</b>
35	<b><math>\alpha</math>-farnésène</b>	1501/1744	<b>7.143</b>	<b>6.398</b>	<b>1.083</b>
36	<b><math>\beta</math>-sesquiphellandrène</b>	1516/1765	<b>3.008</b>	<b>4.723</b>	<b>6.895</b>
37	$\delta$ -cadinol		0.047	0.277	0.606
38	Bisabolol	1652/2140		0.066	0.097

Pendant le temps de 0-5 minutes, les monoterpènes augmentent.

De 0-70 minutes, les monoterpènes diminuent. Mais à partir du  $\beta$ -citronellol les autres composés qui le suivent augmentent.

Dans la globalité, à partir de 70 minutes les monoterpènes oxygénés ne cessent d'augmenter ainsi que les sesquiterpènes et les sesquiterpénols tandis que les monoterpènes diminuent.

Entre 145-180 minutes les monoterpènes diminuent de plus en plus mais les monoterpènes oxygénés ainsi que les sesquiterpènes et les sesquiterpénols augmentent.

Nous pouvons conclure que pour obtenir une meilleure qualité d'huile essentielle de gingembre (c'est-à-dire contenir une quantité optimale de sesquiterpènes), l'extraction doit être maintenue au-delà de 3 heures de temps.

Figure 16: Chromatogramme n°3 : Huile essentielle « Tête »

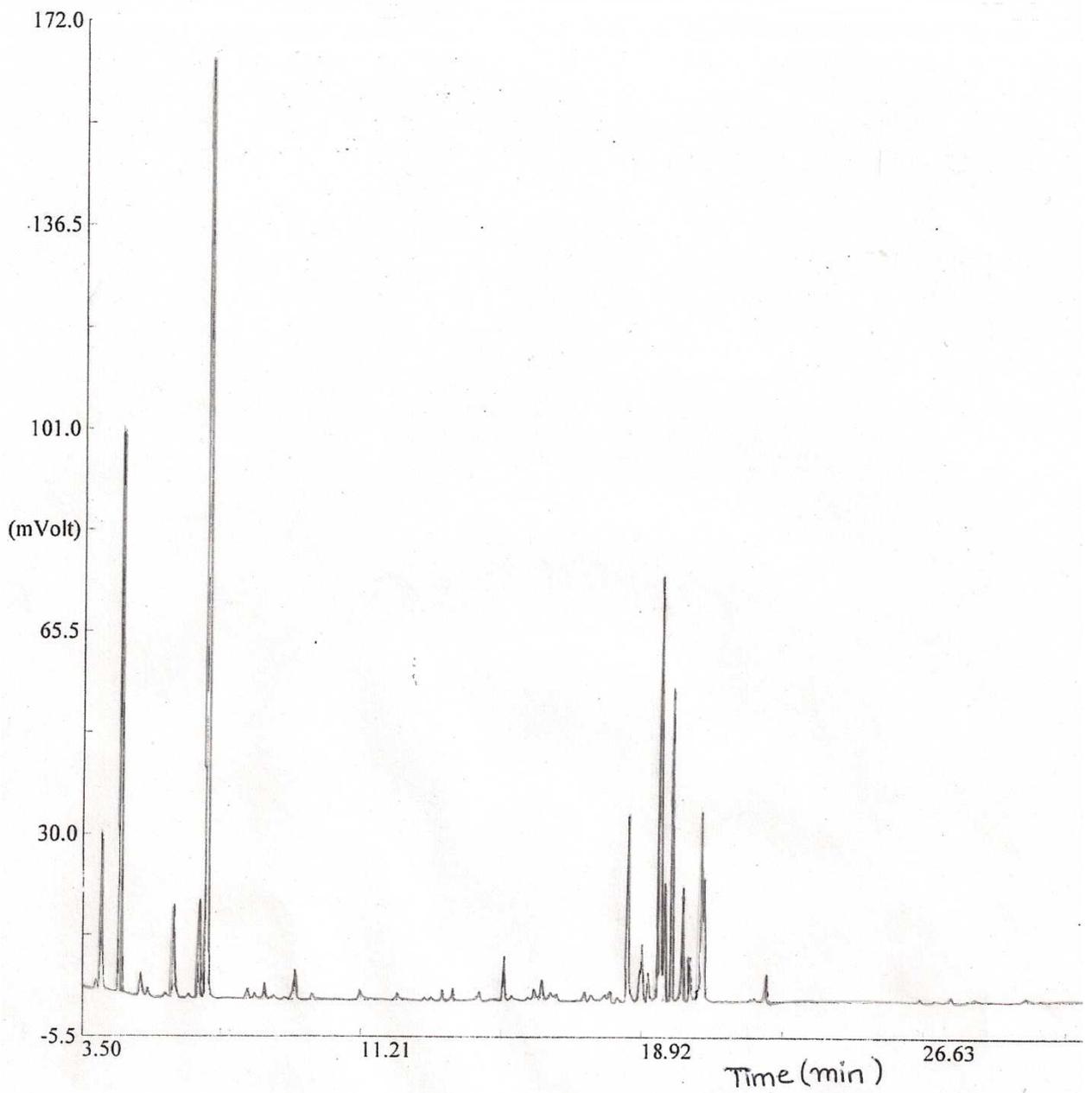


Figure 17: Chromatogramme n°4: Huile essentielle « Cœur »

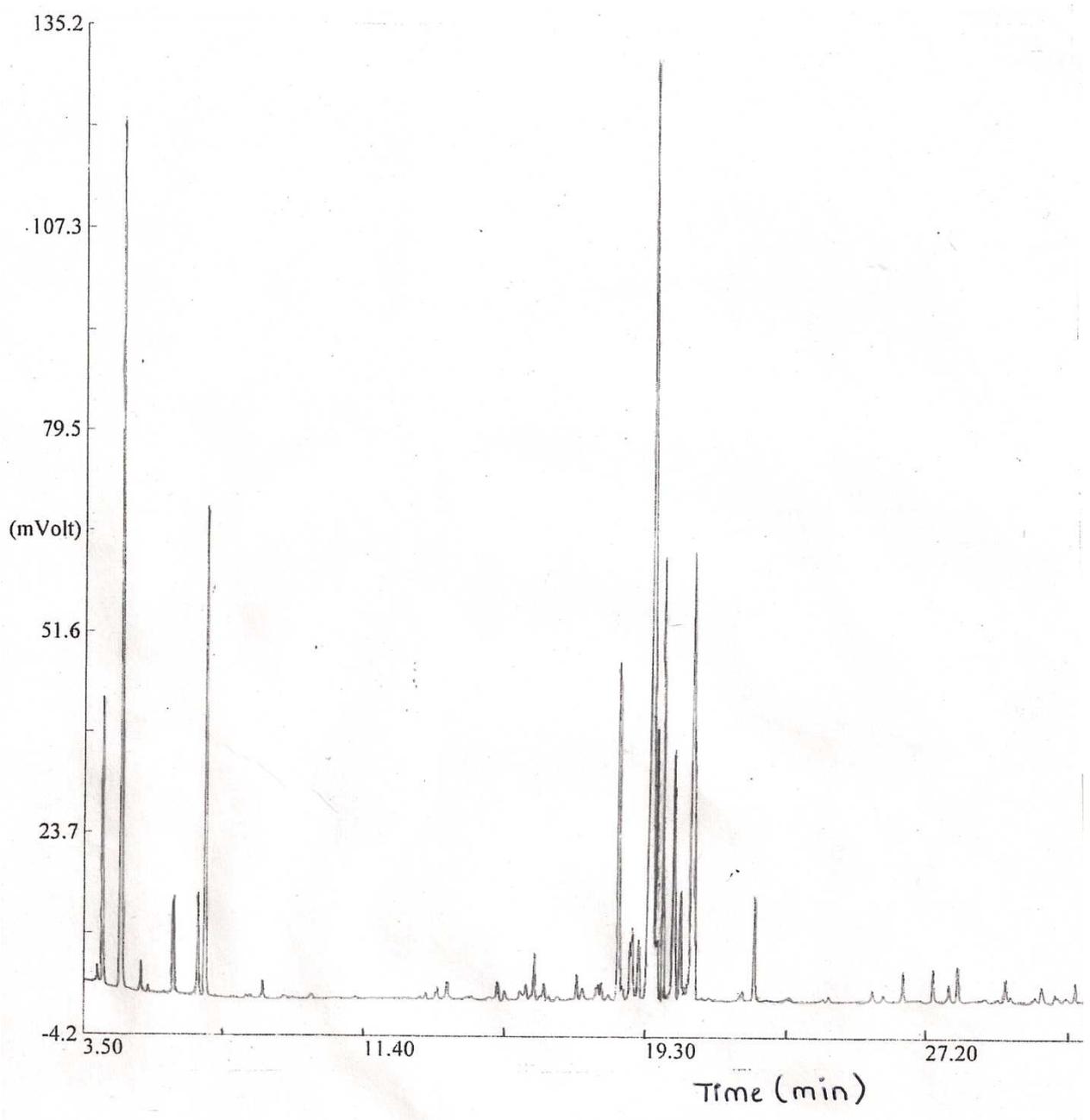
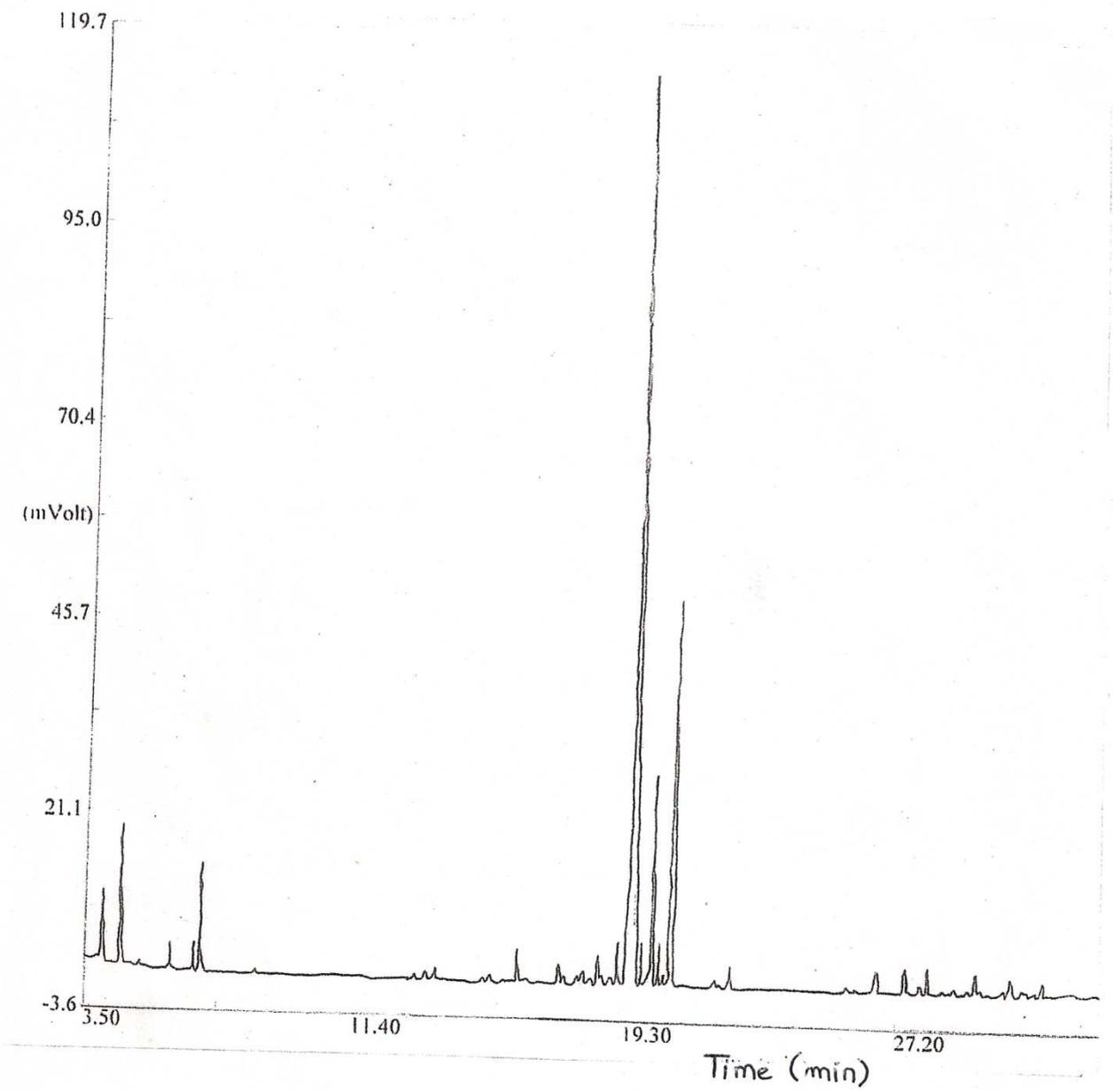


Figure 18: Chromatogramme n°5 : Huile essentielle « Queue »



## CHAPITRE V : ETUDE DE LA VARIABILITE DE LA COMPOSITION DE L'HUILE ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE* DE MADAGASCAR SELON LA PERIODE DE RECOLTE

Le gingembre est une plante annuelle ; les rhizomes arrivent à leur maturité vers le mois de Mai à Juin. La récolte peut se faire pendant toute l'année car même arrivés à maturité, les rhizomes peuvent se conserver sous terre pendant deux ans mais ils deviennent tout simplement plus fibreux. En effet, le gingembre est toujours présent sur le marché local tout au long de l'année et c'est à partir du mois de Mai et Juin qu'il est le moins cher (1700 Ariary le kilo) mais au mois de Décembre et Janvier le kilo atteint les 6000 Ariary. Les rhizomes de gingembre trouvés sur le marché local au mois de Décembre sont donc des rhizomes qui ont atteint leur maturité en Juin mais que les paysans ont conservés sous terre. Les données que nous possédons sont les résultats d'analyses chromatographiques effectués au sein du Laboratoire de l'IMRA pendant les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril et Mai. Les extractions ont été effectuées à l'échelle industrielle. Et certains de ces résultats appartiennent à la Société Aromaforest. D'après une enquête personnelle les matières premières de la Société proviennent de Beforona.

Cette étude de variabilité nous permet en effet de voir comment varie la composition de l'huile essentielle de gingembre malgache pendant la période étudiée c'est-à-dire de Décembre à Mai et à quelle période de récolte l'extraction de l'huile essentielle de gingembre devrait se faire.

Tableau 24: Variation de la composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber officinale* Roscoe selon la période de récolte à Madagascar.

N°	Composés	IKA/IKP	DEC	JAN*	FEV	MAR*	AVR	MAI*
1	Tricyclène	920/1020	0.256	0.235	0.237		0.212	
2	$\alpha$ -thujène	922/1023				0.095		0.271
3	<b><math>\alpha</math>-pinène</b>	931/1022	<b>4.547</b>	<b>4.102</b>	<b>3.729</b>	<b>1.653</b>	<b>3.507</b>	<b>4.896</b>
4	<b>Camphène</b>	943/1066	<b>18.265</b>	<b>14.343</b>	<b>12.311</b>	<b>6.447</b>	<b>12.389</b>	<b>20.317</b>
5	Sabinène	964/1120	0.13	0.099	0.077	0.029	0.067	0.137
6	$\beta$ -pinène	970/1110	0.555	0.458	0.458	0.216	0.38	0.78

7	<b><math>\beta</math>-myrcène</b>	979/1159	<b>2.324</b>	<b>1.761</b>	<b>1.691</b>	0.897	<b>1.54</b>	<b>1.319</b>
8	$\delta^3$ -carène	1005/1147	0.065		0.053		0.039	0.092
9	$\alpha$ -terpinène	1008/1178	0.038					
10	p-cymène	1011/1268	0.163	0.069	0.103	0.048	0.068	0.432
11	<b>Limonène</b>	1020/1199		<b>1.904</b>	<b>2.031</b>	<b>1.182</b>	<b>1.81</b>	<b>3.785</b>
12	<b>1,8-cinéole</b>	1020/1209	<b>17.155</b>	<b>12.308</b>	<b>4.442</b>		<b>10.132</b>	
13	<b><math>\beta</math>-phellandrène</b>	1021/1208	<b>2.749</b>		<b>5.743</b>	<b>4.657</b>	Co-élus	<b>14.818</b>
14	$\gamma$ -terpinène	1047/1243	0.066	0.039	0.044	0.031	0.042	
15	Terpinolène	1078/1280	0.343	0.243	0.281	0.187	0.233	0.164
16	Linalol	1081/1544	0.997	0.539	0.446	0.156	0.427	0.982
17	Terpinèn-4-ol	1161/1600	0.323	0.156	0.269		0.054	0.362
18	<b><math>\alpha</math>-terpinéol</b>	<b>1179/1700</b>	<b>1.954</b>	0.46	0.632	0.44	0.814	<b>2.12</b>
19	<b><math>\beta</math>-citronellol</b>	1208/1764	<b>3.179</b>	<b>3.919</b>	<b>4.916</b>	<b>4.692</b>	<b>4.32</b>	<b>8.975</b>
20	<b>Néral (citral)</b>	<b>1214/1679</b>	0.181	<b>2.26</b>	<b>2.779</b>	0.786	<b>1.474</b>	<b>4.54</b>
21	Géraniol	1232/1837	0.672	0.122	0.42	0.416	0.144	0.379
22	<b>Géranial (citral)</b>	1237/1731	<b>3.141</b>	<b>5.237</b>	<b>4.138</b>	<b>6.074</b>	<b>4.419</b>	<b>4.911</b>
23	Acétate de linalyle	1240/1557	0.045	0.161		0.197	0.158	0.131
24	Eugénol	1337/2176		0.071		0.094		0.086
25	$\delta$ -élémente	1337/1467	0.041		0.225	0.079	0.234	
26	$\alpha$ -cubébène	1350/1452			0.08		0.07	
27	Acétate de géranyle	1358/1748	0.453	0.441	0.29	0.614	0.201	0.33
28	$\alpha$ -copaène	1379/1488	0.153	0.293	0.323	0.326	0.275	0.307
29	$\beta$ -élémente	1388/1589	0.37	0.551	0.699	0.103	0.079	0.434
30	$\beta$ -caryophyllène	1424/1591	0.156	0.085	0.057	0.678	0.182	0.149
31	Aromadendrène	1447/1611	0.213	0.108	0.134	0.133	0.052	0.217
32	$\alpha$ -humulène	1456/1665	0.274	0.311	0.059	0.436	0.338	0.185
33	<b><math>\gamma</math>-muuroène</b>	1471/1681	<b>4.331</b>		0.145		0.288	
34	<b>Ar-curcumène</b>	1471/1769	<b>5.123</b>	<b>8.723</b>	<b>9.151</b>	<b>14.925</b>	<b>10.287</b>	<b>2.83</b>
35	<b>Germacrène D</b>	1480/1704			<b>1.07</b>			
36	<b><math>\beta</math>-sélinène</b>	1483/1712			<b>1.967</b>			
37	<b><math>\alpha</math>-zingibérène</b>	1489/1717	0.56	0.909	<b>1.146</b>	<b>1.22</b>	0.847	0.18
38	<b><math>\beta</math>-bisabolène</b>	1500/1720	<b>13.682</b>	<b>25.801</b>	<b>23.336</b>	<b>38.191</b>	<b>30.713</b>	<b>5.283</b>
39	<b><math>\alpha</math>-farnésène</b>	1501/1744	<b>6.458</b>	<b>4.346</b>	0.267	<b>1.43</b>	<b>2.946</b>	<b>8.3</b>
40	$\delta$ -cadinène	1516/1752			0.541		0.611	
41	$\beta$ -cadinène				<b>5.13</b>			
42	<b><math>\beta</math>-sesquiphellandrène</b>	1516/1765	<b>2.048</b>	<b>3.715</b>	<b>3.514</b>	<b>4.512</b>	<b>3.622</b>	<b>1.115</b>
43	$\delta$ -cadinol		0.51	0.295	0.428	0.239	0.366	0.458

44	Bisabolol	1652/2140	0.082	0.04	0.046	0.171	0.046	0.054
	<b>Total Monoterpènes</b>		<b>57.601</b>	<b>48.927</b>	<b>45.090</b>	<b>28.911</b>	<b>42.430</b>	<b>69.827</b>
	<b>Total Sesquiterpènes</b>		<b>34.001</b>	<b>45.177</b>	<b>48.318</b>	<b>62.443</b>	<b>50.956</b>	<b>19.512</b>
	<b>Total identifiés</b>		<b>91.602</b>	<b>94.104</b>	<b>93.408</b>	<b>91.354</b>	<b>93.386</b>	<b>89.339</b>

Source : Aromaforest, Autres sources\*

En observant les taux de monoterpènes et sesquiterpènes constituant l'huile essentielle de gingembre, nous pouvons interpréter ces résultats ainsi :

- C'est surtout en Décembre et Mai que l'huile essentielle de gingembre est riche en composés monoterpéniques car sa teneur en ces derniers atteint respectivement les 57.601% et 69.827% pour ces mois. En Janvier aussi, nous constatons que l'huile contient plus de monoterpènes que de sesquiterpènes mais avec une teneur légèrement inférieure à celles citées précédemment (48.927%).
- De Février à Avril, l'huile essentielle de gingembre est plutôt riche en composés sesquiterpéniques. Nous avons respectivement 48.318%, 62.443% et 50.956% de sesquiterpènes pour Février, Mars et Avril. Nous constatons que c'est en Mars que nous avons le plus de sesquiterpènes dans l'huile essentielle.

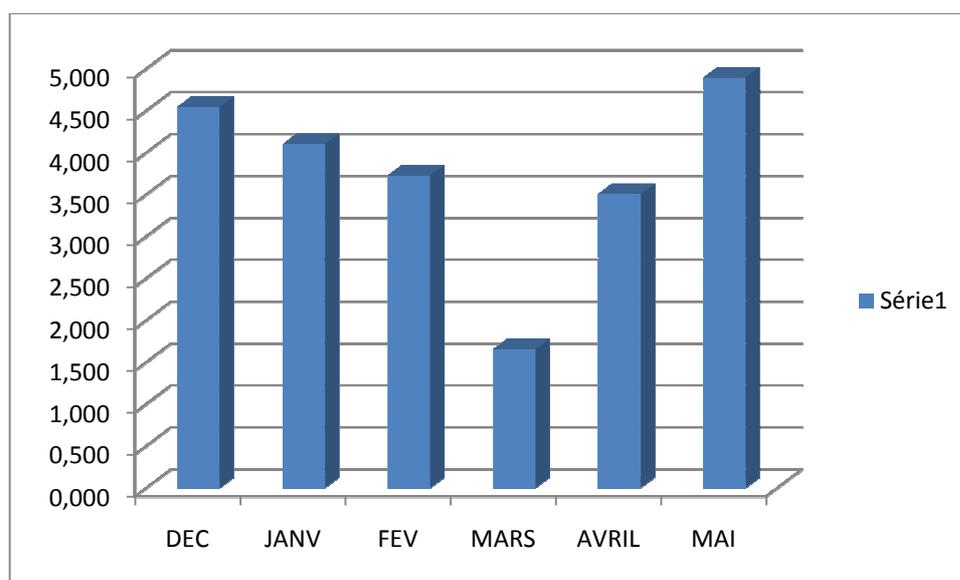
Ainsi, nous pouvons en déduire que si nous voulons une huile essentielle riche en monoterpènes, il est conseillé de faire l'extraction en Décembre et Mai. On peut quand même accepter une extraction en Janvier mais le résultat est moins satisfaisant.

Par contre, si l'on veut obtenir une huile essentielle riche en composés sesquiterpéniques, l'extraction doit se faire de Février à Avril. Mais pour obtenir le meilleur résultat, il est judicieux d'effectuer l'extraction en Mars.

Considérons aussi un à un chaque constituant majoritaire dans l'huile essentielle de gingembre afin de savoir la période où leur teneur est la meilleure, nous utiliserons des histogrammes.

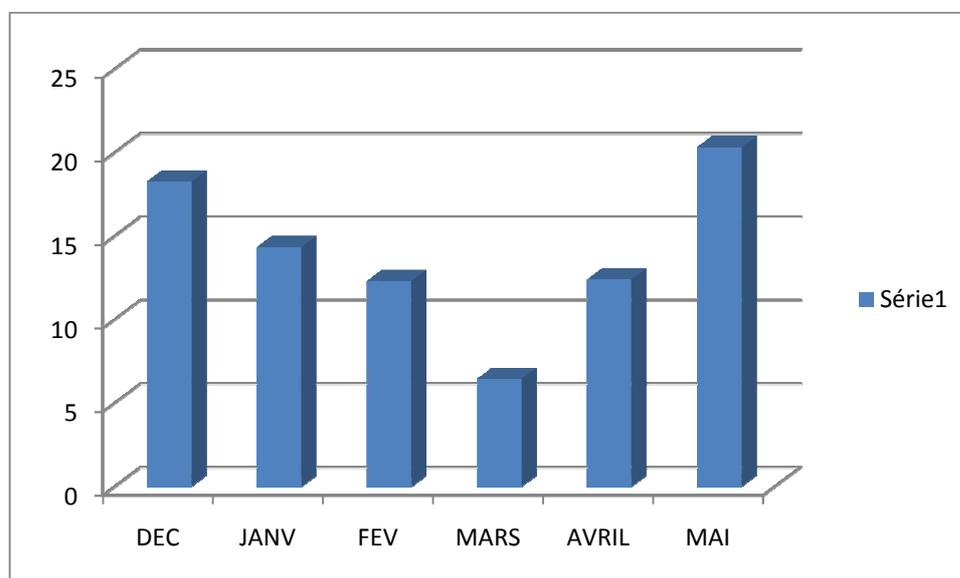
Soient les histogrammes des constituants majoritaires de l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) de Madagascar montrant les variations de leurs teneurs selon la période de récolte :

- $\alpha$ -pinène



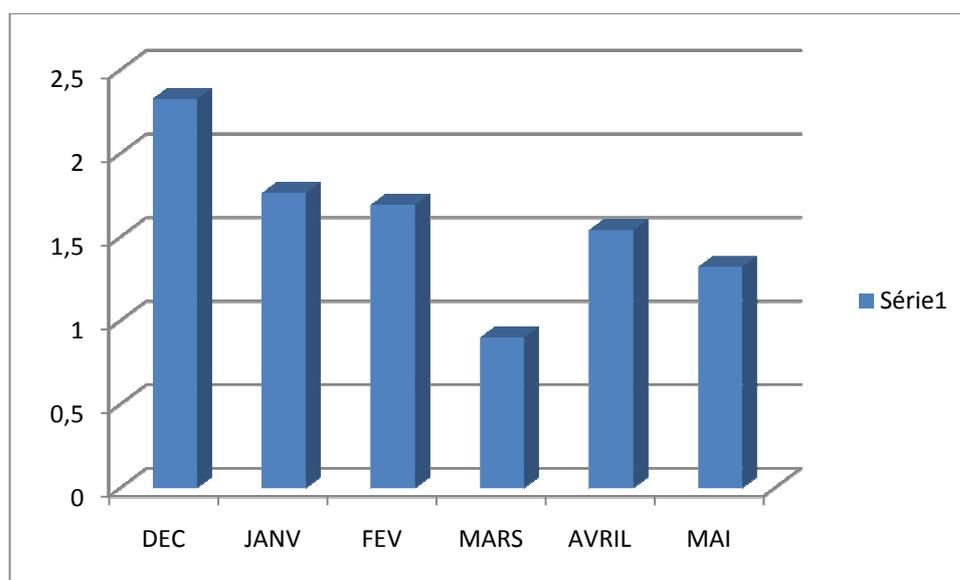
Nous remarquons une certaine constance de la teneur en  $\alpha$ -pinène dans les huiles essentielles de gingembre. Mais c'est en Mai que nous avons le plus de teneur en  $\alpha$ -pinène avec un taux de près de 5%.

- camphène



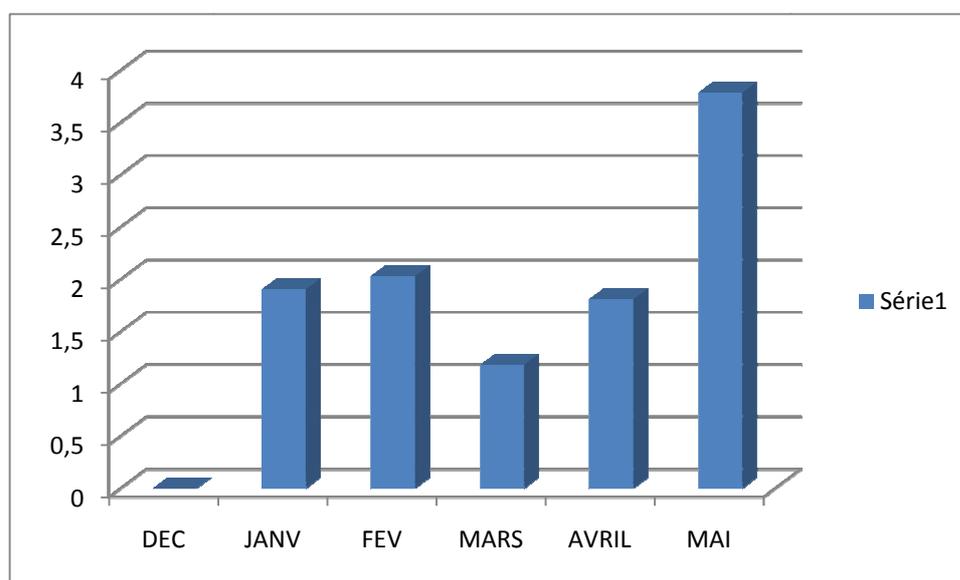
Le camphène est toujours présent en grande quantité dans l'huile, supérieure à 10% la plupart du temps ; 6.4% minimum et 20.3% maximum (en Mai). Ceci caractérise l'huile essentielle de gingembre malgache.

- $\beta$ -myrcène



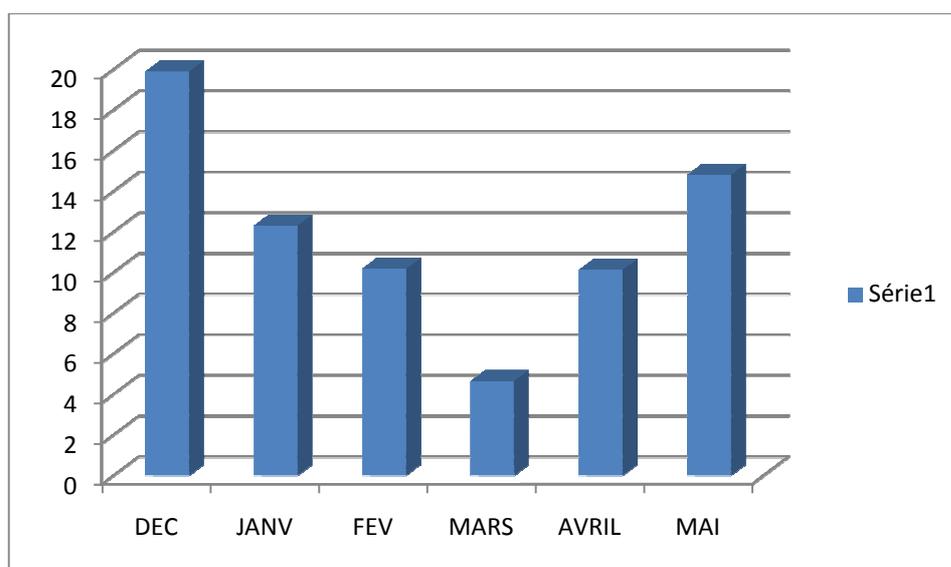
Nous remarquons une certaine constance de la teneur en  $\beta$ -myrcène dans l'huile essentielle de Décembre à Mai. Mais la teneur est maximale en Décembre.

- Limonène



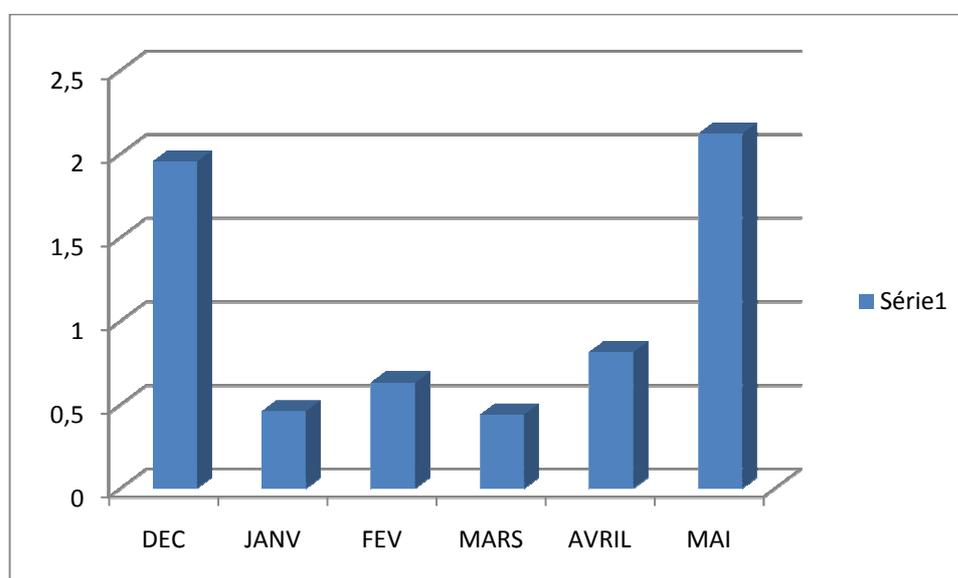
Le limonène, par contre, peut être présent dans l'huile en quantité non négligeable jusqu'à près de 4% (en Mai) et parfois en faible quantité, voire même à l'état de trace.

- 1.8-cinéole+  $\beta$ -phellandrène



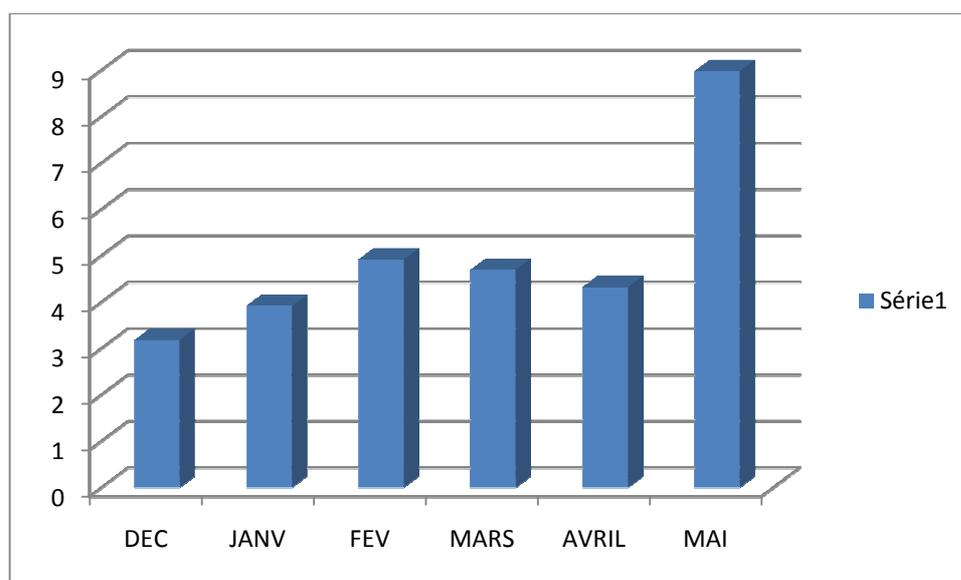
La teneur en 1.8 cinéole +  $\beta$ -phellandrène varie beaucoup, elle vaut 4% en Mars et atteint presque les 20% en Décembre.

- $\alpha$ -terpinéol



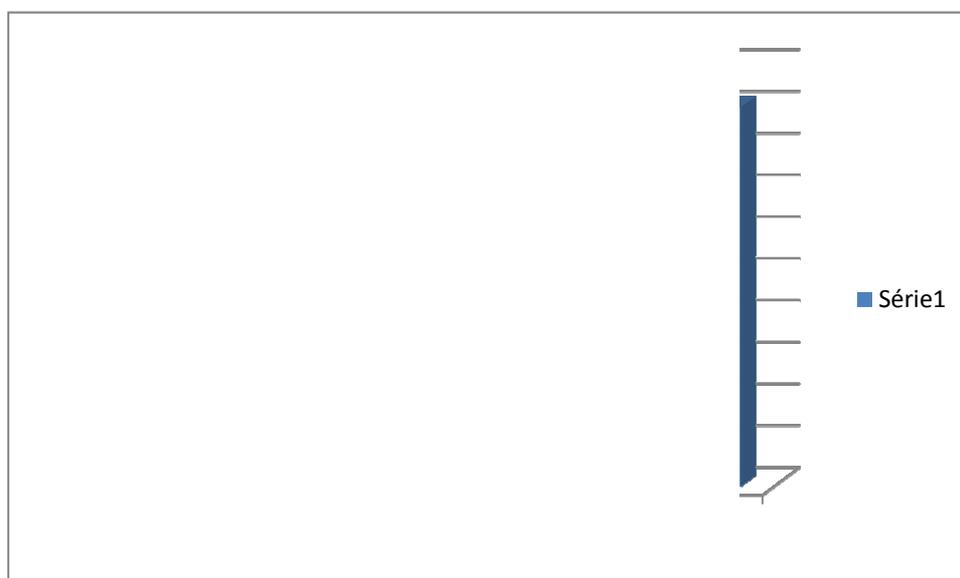
L' $\alpha$ -terpinéol est toujours présent dans l'huile essentielle avec une faible teneur ( $\leq 2\%$ ). C'est en Décembre et en Mai que nous avons le plus de teneur.

- $\beta$ -citronnelol



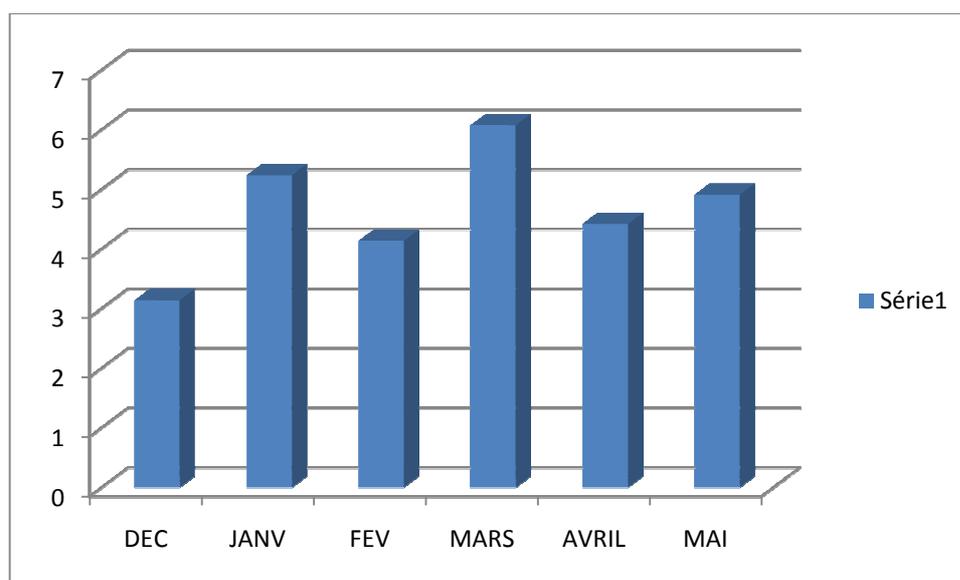
La teneur en  $\beta$ -citronnelol est plutôt constante dans l'huile essentielle mais elle est doublée au mois de Mai.

- Néral



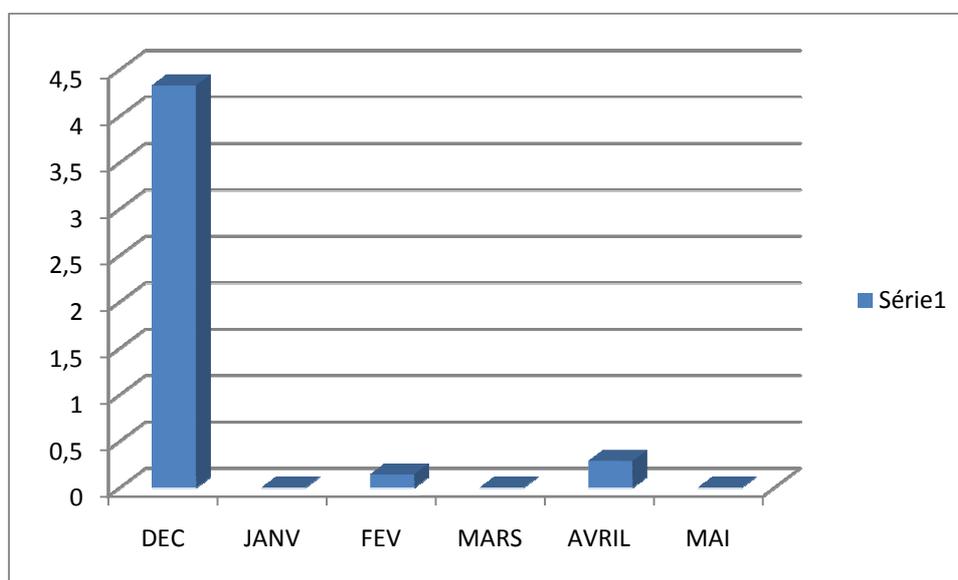
Sa teneur varie beaucoup, mais elle atteint les 4.5% en Mai.

- Géranial



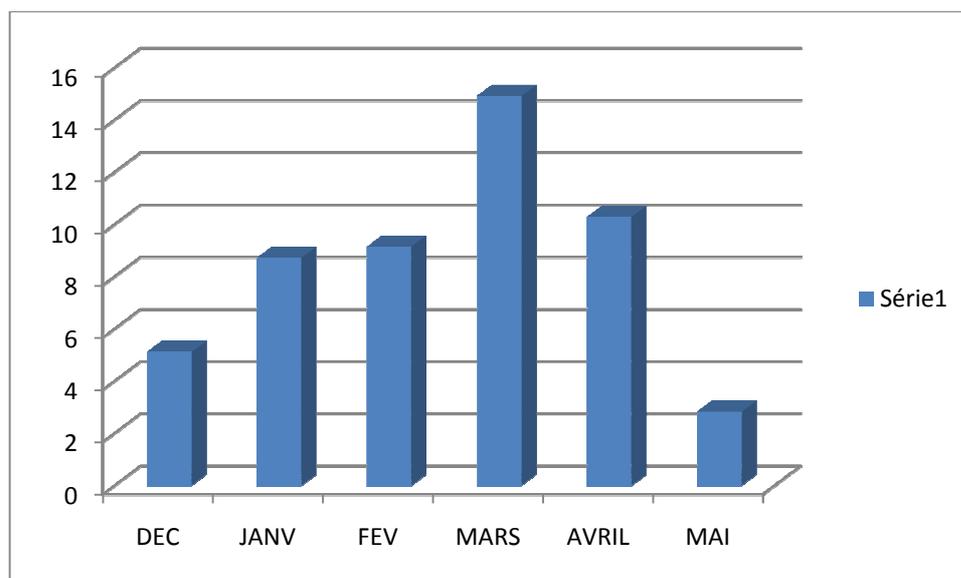
Le géranial est toujours présent dans l'huile avec une teneur assez importante atteignant les 6% en Mars. Celui-ci additionné du néral donne le citral. C'est ce dernier qui est responsable de l'odeur citronnée de l'huile essentielle de gingembre malgache et cela est caractéristique à Madagascar.

- $\gamma$ -muurolène



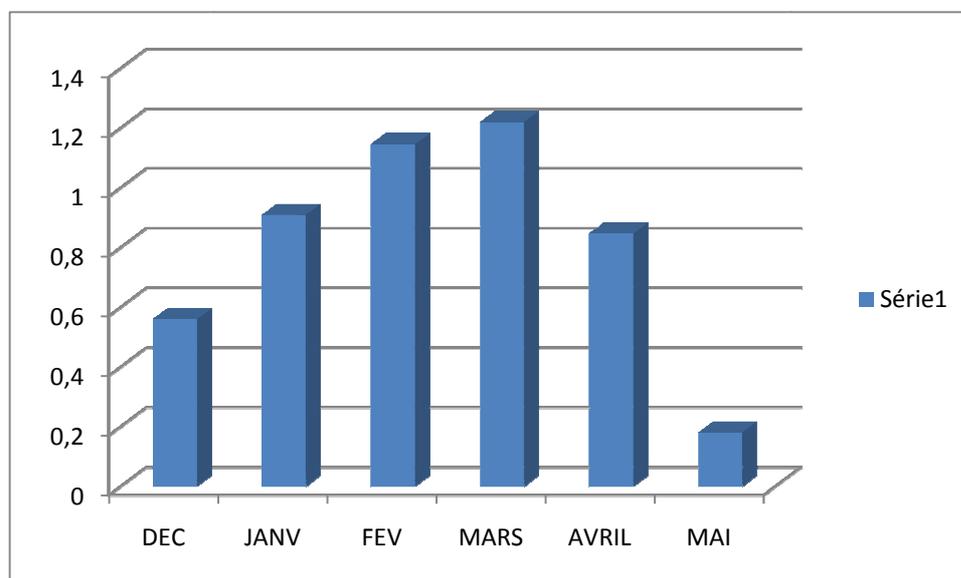
Le  $\gamma$ -muurolène est souvent à l'état de trace dans l'huile essentielle, sinon en très faible teneur, sauf au mois de Décembre il vaut 4.3%.

- ar-curcumène



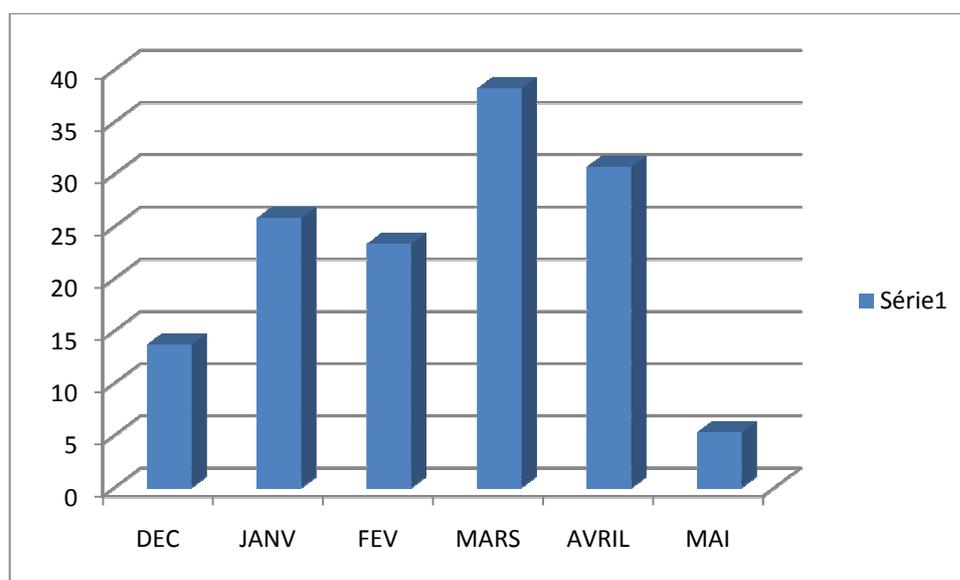
Il est toujours présent dans l'huile avec une proportion considérable, 2.8% au minimum (Mai) et 14.9% au maximum (Mars).

- $\alpha$ -zingiberène



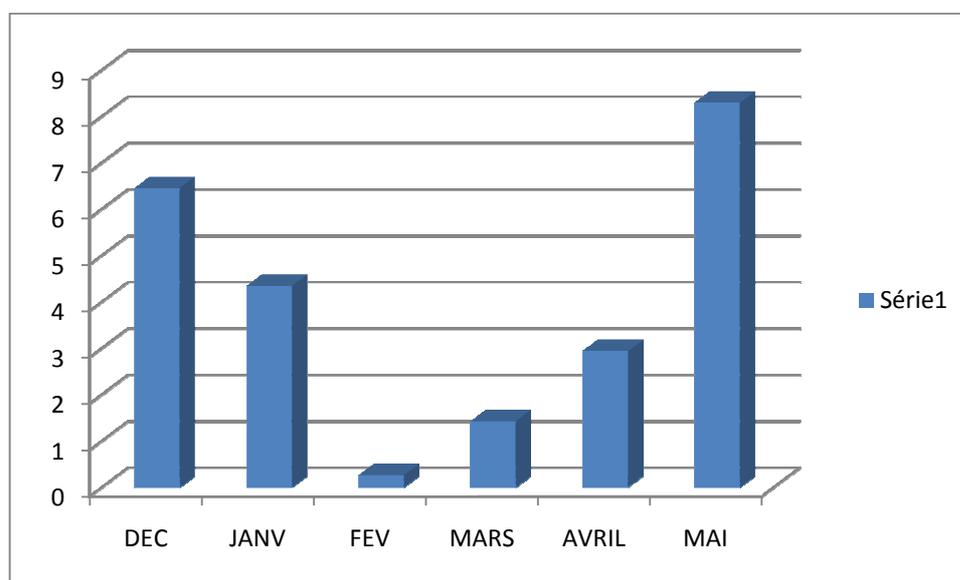
Il est toujours présent mais avec une faible teneur dans l'huile essentielle de gingembre malgache ( $\leq 1.2\%$ ).

- $\beta$ -bisabolène



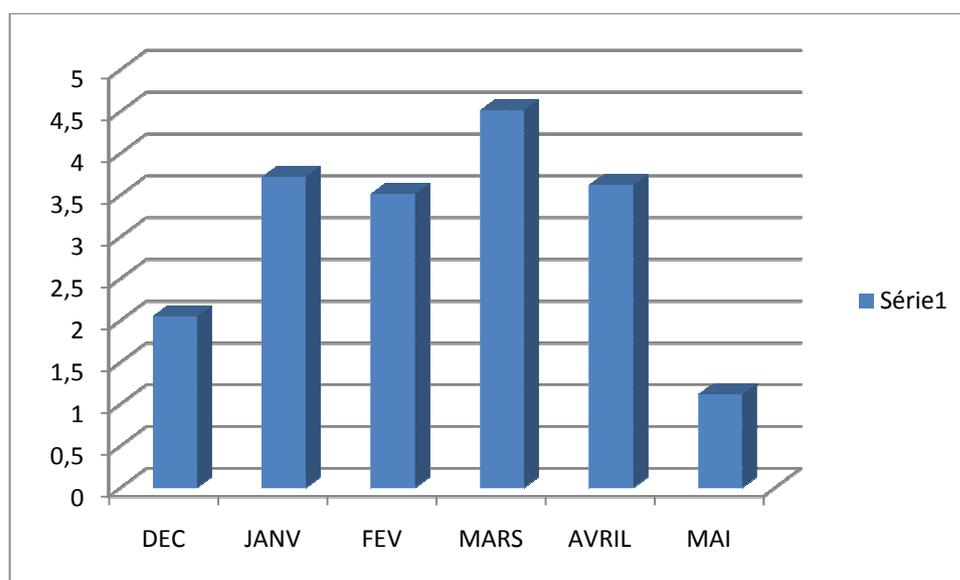
Il est toujours présent en quantité considérable, et dans la plupart des cas, c'est le constituant majeur de l'huile. Sa teneur peut atteindre jusqu'à 38% (Mars). Le fait que le  $\beta$ -bisabolène soit présent en très grande teneur dans l'huile est caractéristique de l'huile essentielle malgache.

- $\alpha$ -farnésène



Sa teneur dans l'huile varie beaucoup comme nous pouvons le constater de 0.26% en Février à 8.3% en Mai.

- $\beta$ -sesquiphellandrène



Nous remarquons une certaine constance de sa proportion dans l'huile essentielle. Sa teneur vaut au minimum 1% (Mai) et au maximum 4.5% (Mars).

Ainsi nous avons pu observer les périodes où chaque constituant majoritaire a sa meilleure teneur. Mais d'une manière générale, nous pouvons dire que de Janvier à Avril l'huile est riche en  $\beta$ -bisabolène. Tandis qu'en Décembre et Mai l'huile est plutôt riche en camphène.

## CONCLUSION GENERALE

Pour conclure, nous pouvons dire que :

Le gingembre de Madagascar est de très bonne qualité, étant cultivé de manière biologique. Cependant la production nationale est faible car elle ne représente que 0.4% de la production mondiale. Il serait alors intéressant d'améliorer cette production en encourageant les paysans à se former et suivre les guides techniques sur la culture du gingembre.

Le rhizome est riche en amidon. Et il contient de l'huile essentielle, de l'oléorésine et d'autres composants (minéraux, vitamines, etc.). Ses vertus thérapeutiques lui confèrent un intérêt particulier.

L'exportation en huile essentielle de gingembre à Madagascar représente moins de 0.6% de la totalité des huiles essentielles exportées par le pays. Des efforts devraient être fournis pour accroître la production en vue de l'exportation de cette huile et avoir ainsi une plus grande part de marché.

Des études antérieures sur l'huile essentielle de gingembre nous rapportent que la composition chimique de l'huile essentielle de gingembre dans le monde est caractérisée par les trois composés suivants : l' $\alpha$ -zingibérène, le  $\beta$ -bisabolène et le  $\beta$ -sesquiphellandrène. Pour l'huile essentielle de gingembre malgache, ces mêmes études montrent que ces trois composés font toujours partie des principaux constituants. Mais sa particularité réside dans le fait que le camphène et le 1.8-cinéole sont présents en grande quantité, atteignant respectivement les 22.8% et 8.7%. Le constituant majeur de l'échantillon Madagascar est soit l' $\alpha$ -zingibérène soit le camphène. Ces différences dans la composition chimique de l'huile essentielle issue d'une même plante peuvent être dues aux conditions écologiques subies par la plante, à la variété de la plante ou à d'autres facteurs.

L'huile essentielle de gingembre a la propriété de tuer des microbes, des champignons, des bactéries et des insectes. Sa consommation permet de lutter contre plusieurs

maladies. Elle présente aussi des intérêts en industrie alimentaire, industrie de parfum et en industrie cosmétique.

L'huile essentielle de gingembre est obtenue par le procédé d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau qui est l'hydrodistillation simple. Nous avons appris dans les expériences, que le maximum de rendement en huile essentielle est obtenu en râpant les rhizomes ; nous avons trouvé une valeur moyenne de 0.4081%. Nous pouvons ainsi conseiller les opérateurs, à broyer autant que possible les rhizomes pour avoir le maximum de rendement en peu de temps, car une trop longue altération de l'huile avec l'eau réduit la qualité de celle-ci. L'huile obtenue est un liquide mobile et limpide de couleur jaune claire, ayant une odeur caractéristique rappelant celle du rhizome. Elle est amère et très légèrement piquante. Elle présente les propriétés physico-chimiques suivantes : l'indice de réfraction à 20°C est égal à 1.4703, son pouvoir rotatoire vaut -2.75°, sa densité à 20°C est de 0.922, son indice d'acide est 0.57 et son indice d'ester 21.24.

Les huiles essentielles de *Zingiber Officinale* extraites au laboratoire au mois de Janvier sont essentiellement composées de :  $\beta$ -bisabolène, 1.8-cinéole, camphène,  $\alpha$ -farnésène, néral,  $\alpha$ -curcumène,  $\alpha$ -pinène, géraniol,  $\beta$ -sesquiphellandrène,  $\beta$ -citronellol,  $\alpha$ -terpinéol, géraniol, limonène,  $\beta$ -myrcène et linalol. Nous avons remarqué la dominance de  $\beta$ -bisabolène dans ces huiles. Or dans la bibliographie ([15],[26]) nous avons vu que dans l'huile essentielle de gingembre malgache, c'est soit le camphène soit l' $\alpha$ -zingiberène qui prédomine. Ainsi nous pouvons dire que le constituant majeur de l'huile essentielle de gingembre de Madagascar peut être parfois le  $\beta$ -bisabolène ou le camphène ou l' $\alpha$ -zingiberène. Nous avons aussi constaté que ce sont les échantillons de Sri Lanka et d'Equateur qui ont une teneur en  $\beta$ -bisabolène qui se rapproche assez de celle de nos échantillons.

A partir de l'étude cinétique d'extraction de l'huile essentielle de gingembre que nous avons effectué, nous pouvons déduire que l'extraction doit être exécutée au-delà de 3 heures pour que les sesquiterpènes, des composés importants, soient en grande concentration dans l'huile essentielle. Cependant, cette durée doit être inférieure à 4

heures pour des raisons économiques c'est-à-dire pour minimiser la dépense d'énergie et d'eau de réfrigération.

Nous nous sommes aussi penchés sur l'étude de la variabilité de la composition chimique de l'huile essentielle de *Zingiber Officinale* de Madagascar en tenant compte de la période de la récolte. Ceci nous a permis d'observer les différents changements sur le plan qualitatif des huiles essentielles ; la période étudiée étant de Décembre à Mai. Et nous sommes arrivés aux interprétations suivantes :

- l'huile essentielle de gingembre est riche en composés monoterpéniques en Décembre et Mai car sa teneur en ces composés atteint respectivement les 57.601% et 69.827% pour ces mois. En Janvier aussi, nous constatons que l'huile contient plus de monoterpènes que de sesquiterpènes mais avec une teneur légèrement inférieure à celles citées précédemment (48.927%).
- l'huile essentielle de gingembre est plutôt riche en composés sesquiterpéniques en Février, Mars et Avril, avec les teneurs respectifs de 48.318%, 62.443% et 50.956%. Nous constatons que c'est en Mars que nous avons le plus de sesquiterpènes dans l'huile essentielle.

Ainsi, nous pouvons en déduire que si nous voulons une huile essentielle riche en monoterpènes, il est conseillé de faire l'extraction en Décembre et Mai. On peut quand même accepter une extraction en Janvier mais le résultat est moins satisfaisant.

Par contre, si l'on veut obtenir une huile essentielle riche en composés sesquiterpéniques, l'extraction doit se faire de Février à Avril. Mais pour obtenir le meilleur résultat, il est judicieux d'effectuer l'extraction en Mars.

Nous avons pu aussi observer les périodes où chaque constituant majoritaire a sa meilleure teneur. D'une manière générale, nous pouvons dire que de Janvier à Avril l'huile est riche en  $\beta$ -bisabolène. Tandis qu'en Décembre et Mai l'huile est plutôt riche en camphène.

Enfin, il serait aussi intéressant de faire des études poussées sur l'oléorésine de gingembre qui contient les principes piquants du gingembre et d'autres composés non trouvés dans l'huile essentielle.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ADJANOHOUN E.J., Bulletin de liaison : « Traditionnelle et pharmacopée, Zingiber officinale Rosc. Zingiberaceae (Gingembre) », vol 3, N°1, Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT) ,1989.
- [2] AFNOR Recueil des normes françaises : Huiles Essentielles -Association Française de Normalisation, 4ème édition, Paris, 1992.
- [3] BANSOD S. and RAI M. « Antifungal Activity of Essential Oils from Indian Medicinal Plants Against Human Pathogenic Aspergillus fumigatus and A. niger » World Journal of Medical Sciences 3 (2), pp 81-88, 2008.
- [4] BELEWU M. A., OLATUNDE O. A. and GIWA T. A., « Underutilized medicinal plants and spices: Chemical composition and phytochemical properties », Journal of Medicinal Plants Research Vol 3(12), pp 1099-1103, December, 2009
- [5] BORGET M., « les plantes tropicales à épices », MAISONNEUVE & LAROSE, PARIS, 1991
- [6] BRUNETON J., « Elément de phytochimie et de pharmacognosie », 2<sup>ème</sup> édition, Technique et Documentation, 1993.
- [7] Copyright Thorne Research, Inc., « Monograph *Zingiber officinale* (Ginger) », Alternative Medicine Review , Vol 8, N°3 , pp 331- 335, 2003.
- [8] DOUGLAS M., HEYES J. and SMALLFIELD B. of the New Zealand Institute for Crop and Food Research Inc., MAZAUD F. (FAO) and JENANE C. (UNIDO), Ms. JAKLITSCH E., Ms. NIETO G. Garcia and Ms. DURAND-VUAILLE V. , « Herbs, spices and essential oils. Post-harvest operations in developing countries », © UNIDO and FAO 2005.
- [9] Encyclopédie UNIVERSALIS 2006
- [10] FRANCHOMME P. et Docteur PENOËL D., « l'aromathérapie exactement », Roger Jollois, Limoges, 1995.

- [11] GEIGER J.L. « The essential oil of ginger, *Zingiber officinale*, and anaesthesia » The International Journal of Aromatherapy (2005) 15, pp 7-14.
- [12] HUSAIN Fazli A., « Tendances du marché mondial des épices et notamment de certaines épices produites à Madagascar », Centre de commerce international CNUCED/GATT, 1994.
- [13] IBRAHIM T.A. et al. « Comparative phytochemical properties of crude ethanolic extracts and physicochemical characteristics of essential oils of MYRISTICAL FRAGRANS (nutmeg) seeds and *Zingiber officinale* (ginger) roots. » Electronic Journal of Environmental Agricultural and Food chemistry EJEAFche, 9 (6), pp 1110-1116, 2010.
- [14] JOY P. P., THOMAS J., MATHEW S., and SKARIA, « Zingiberaceous Medicinal and Aromatic Plants ». Aromatic and Medicinal Plants Research Station, Odakkali, Asamannoor P.O., Kerala, India.B.P.1998.
- [15] KOROCH A., RANARIVELO L., BEHRA O., JULIANI H.R., and SIMON J.E. « Quality Attributes of Ginger and Cinnamon Essential Oils from Madagascar » in : Issues in new crops and new uses. Ed by Janick and A. Whipkey. ASHS Press, Alexandria, VA, pp 338-341, 2007.
- [16] MAISTRE J., « les plantes à épices », G.-P. MAISONNEUVE & LAROSE, PARIS (V<sup>e</sup>), 1964.
- [17] MAYER B. G., « Extraction au CO<sub>2</sub> : Nouvelles applications pour l'industrie alimentaire », Bios (Paris), vol 21, N°3, pp 47-51 , 1990.
- [18] Millenium Challenge Account (MCA) Madagascar, «Opportunités de marché-Filière Huiles Essentielles Région Atsinana », 2007
- [19] MIYAZAWA M. et KAMEOKA H., « Volatile flavor components of *Zingiberis Rhizoma* (*Zingiber officinale* Roscoe) » Agric.Biol.Chem., 52 (11), pp 2961-2963, 1988.
- [20] NATTA L., ORAPIN K., KRITTIKA N. and PANTIP,B. « Essential oil from five Zingiberaceae for anti food-borne bacteria » International Food Research Journal 15(3), pp 337-346, 2008.

[21] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et Service d'Appui à la Gestion de l'Environnement (SAGE) Fampanandrosoana Maharitra, « Guide technique pour l'exploitation du Gingembre », 2005.

[22] OUAMBA J.M., « Valorisation chimique des plantes aromatiques du Congo, Extraction et analyse des huiles essentielles, Oximation des aldéhydes naturels», thèse, Sciences et techniques du Languedoc, Université Montpellier II, 1991.

[23] OWOLABI M.S., OLADIMEJI M.O., LAJIDE L., SINGH G., MARIMUTHU P. and ISIDOROV V.A., « Bioactivity of three plant derived essential oils against the maize weevils *Sitophilus zeamais* (MOTSCHULSKY) and cowpea weevils *Callosobruchus maculatus* (FABRICIUS) » Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry EJEAFChe, 8 (9), pp 828-835, 2009.

[24] RAKOTOARIMANANA B.V. et RALAMBOMANANA-A. A., « Contribution à l'optimisation d'une unité de production d'huiles essentielles », mémoire de fin d'études, Département Génie Chimique, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ESPA, Université d'Antananarivo, 1999

[25] RANAIVONJOANY M., « Place du gingembre dans les systèmes de production de Beforona », Mémoire de fin d'études, Département Agriculture, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA, Université d'Antananarivo, 2005.

[26] RANDRIANARIVONY L.L., « Valorisation du gingembre de Beforona en huile essentielle et oléorésine cas de la société BIOSAVE, optimisation du rendement et contrôle qualité », mémoire de fin d'études, Département Industries Agricoles et Alimentaires, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA, Université d'Antananarivo, 2005.

[27] RAVAOARISOA M.F., « Le gingembre et ses différentes utilisations », Mémoire de fin d'études, Département Industrie Agricole et Alimentaire, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA, Université d'Antananarivo, 1979.

[28] RAVAONIRINA L., « Création d'une entreprise productrice et exportatrice de Gingembre frais dans la commune rurale d'Anjiro », Mémoire de fin d'études,

Département Agro-Management, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA, Université d'Antananarivo, 2006

[29] SACCHETTI G., MAIETTI S., MUZZOLI M., SCAGLIANTI M., MANFREDINI S., RADICE M., BRUNI R. « Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in food », Food Chemistry 91 (2005) pp 621-632.

[30] SINGH G., KAPOOR I.P.S., SINGH P., DE HELUANI C.S., DE LAMPASONA M.P., CATALAN C. A.N., « Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of Zingiber officinale », Food and Chemical Toxicology, vol 46, pp 3295-3302, 2008.

[31] SMADJA J., « Les Huiles Essentielles », Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles et des Sciences des Aliments (LCSNSA), Université de La Réunion, Colloque GP3A - Tananarive 2-3 juillet 2009.

[32] VERNON F. et RICHARD H., « Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles », vol 2, série synthèses bibliographiques N°10, Centre de documentation internationale des industries utilisatrices de produits agricoles (C.D.I.U.P.A.), Juillet 1976.

[33] ZAFIMANOVA K.A., « Contribution à la valorisation du gingembre de Beforona cas du séchage », mémoire de fin d'études, Département Industries Agricoles et Alimentaires, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA, Université d'Antananarivo, 2006.

## REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [34] <http://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Nouvelles/fiche.aspx?doc=200541> (Décembre 2009).
- [35] [http://www.passeportsante.net/fr/nutrition/encyclopediealiments/fiche.aspx?doc=gingembre\\_nu](http://www.passeportsante.net/fr/nutrition/encyclopediealiments/fiche.aspx?doc=gingembre_nu) (Décembre 2009).
- [36] [http://www.pnae.mg/ie/cartes/atsinana/Atsinana\\_pedologie\\_rectif.jpg](http://www.pnae.mg/ie/cartes/atsinana/Atsinana_pedologie_rectif.jpg) (Février 2010).
- [37] [http://www.pnae.mg/ie/cartes/atsinana/Atsinana\\_region\\_climatique\\_rectif.jpg](http://www.pnae.mg/ie/cartes/atsinana/Atsinana_region_climatique_rectif.jpg) (Février 2010).
- [38] <http://fr.wikipedia.org/wiki/gingembre> (Février 2010).
- [39] [www.maep.gov/filtech.gingembre.htm](http://www.maep.gov/filtech.gingembre.htm) (Février 2010).
- [40] <http://www.toiledepices.com/wiki/index.php/Gingembre> (Mars 2010).
- [41] [http://www.memoireonline.com/12/09/2969/m\\_Caract%C3%A9risation-des-huiles-essentielles-de-trois-plantes-aromatiques--Hyptis-Spicigera-Pluchea-Ov.html](http://www.memoireonline.com/12/09/2969/m_Caract%C3%A9risation-des-huiles-essentielles-de-trois-plantes-aromatiques--Hyptis-Spicigera-Pluchea-Ov.html) (Avril 2010).
- [42] <http://www.hc-sc.gc.ca/sr-sr/pubs/about-apropos/forum/2006-boa=ldr-06-fra.php> (Juin 2010).
- [43] [www.florame.co.jp/chromatography/chg\\_ginger/GingembreLOT9881.pdf](http://www.florame.co.jp/chromatography/chg_ginger/GingembreLOT9881.pdf) (Juin 2010).

## **ANNEXES**

## ANNEXE 1 : DETERMINATION DE L'INDICE DE REFRACTION SELON AFNOR T 75-112

- PRINCIPE

Suivant le type d'appareil utilisé, soit mesurage direct de l'angle de réfraction, soit observation de la limite de réflexion totale, l'huile étant maintenue dans des conditions d'isotropisme et de transparence.

- APPAREILLAGE

- Réfractomètre

Utiliser un réfractomètre classique permettant la lecture directe d'indices de réfraction situés entre 1,300 0 et 1,700 0 avec une précision de  $\pm 0,0002$ .

Ajuster l'appareil de manière à donner, à la température de 20°C, les indices de réfraction suivants :

- ✓ 1,3330 pour l'eau distillée,
- ✓ 1,4906 pour le p-cymène,
- ✓ 1,5685 pour le benzoate de benzyle,
- ✓ 1,6585 pour le bromo-1 naphthalène.

Les produits étalons doivent être purs, de qualité pour réfractométrie.

Certains appareils peuvent aussi être ajustés au moyen d'une lame de verre d'indice de réfraction connu, selon les indications fournies par le fabricant de l'appareil.

- Dispositif pour la stabilisation de la température

Utiliser n'importe quel dispositif, par exemple un thermostat, faisant circuler un courant d'eau dans le réfractomètre et permettant ainsi de maintenir l'appareil à la température convenable (à  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ).

- Source lumineuse

Effectuer les déterminations à la lumière du sodium, ou, si le réfractomètre est muni d'un compensateur achromatique, à la lumière diffuse du jour ou d'une lampe électrique.

- MODE OPERATOIRE

Faire passer un courant d'eau dans le réfractomètre afin de maintenir l'appareil à la température à laquelle les lectures doivent être effectuées. Cette

température ne doit pas différer de la température de référence de plus de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , et doit être maintenue à  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .

Avant de le placer dans l'instrument, porter l'échantillon pour essai à une température à peu près égale à celle à laquelle le mesurage doit être effectué.

Attendre, pour effectuer la lecture, que la température soit stable.

- **EXPRESSION DES RESULTATS**

L'indice de réfraction,  $n_D^t$ , à la température de référence  $t$ , est donné par la formule :

$$n_D^t = n_D^{t'} + 0,000\ 4 (t' - t)$$

Où

$n_D^{t'}$  est la valeur de la lecture, obtenue à la température  $t'$ , à laquelle a été effectuée la détermination.

La précision de la détermination doit être de  $\pm 0,000\ 2$ .

ANNEXE 2 : DETERMINATION DU POUVOIR ROTATOIRE SELON  
AFNOR T 75-113

- APPAREILLAGE

- Polarimètre

Polarimètre de précision au moins égale à  $\pm 0,5$  mrad ( $\pm 0,03^\circ$ ), et réglé de façon à donner  $0^\circ$  et  $180^\circ$  avec l'eau.

L'appareil doit être utilisé dans des conditions de stabilité, et à l'obscurité dans le cas des polarimètres non électroniques.

- Source lumineuse

On peut utiliser un dispositif quelconque permettant d'obtenir une lumière de longueur d'onde  $589,3 \text{ nm} \pm 0,3 \text{ nm}$ , de préférence une lampe à vapeur de sodium.

- MODE OPERATOIRE

Allumer la source lumineuse et attendre jusqu'à l'obtention d'une bonne luminosité.

Remplir le tube avec l'échantillon pour essai, en s'assurant qu'il ne reste aucune bulle d'air interposée.

Placer le tube dans le polarimètre et lire l'angle de rotation dextrogyre (+) ou lévogyre (-) de l'échantillon pour essai sur l'échelle de l'appareil.

Effectuer au moins trois mesurages sur le même échantillon pour essai.

Prendre comme résultat la moyenne des valeurs obtenues pour trois mesurages, à condition qu'elles ne diffèrent pas entre elles de plus de  $1,4$  mrad ( $0,08^\circ$ ).

ANNEXE 3 : DETERMINATION DE LA DENSITE RELATIVE A 20°C SELON  
AFNOR NF T 75-111

- Principe

A l'aide d'un pycnomètre, pesées successives de volumes égaux d'huile essentielle et d'eau, à la température 20°C.

- Appareillage

- pycnomètre en verre

- balance analytique

- Mode opératoire

- Préparation du pycnomètre :

Nettoyer soigneusement puis rincer le pycnomètre, par exemple au moyen d'éthanol puis d'acétone, et le sécher en faisant passer un courant d'air sec. Si nécessaire, essuyer l'extérieur du pycnomètre avec un chiffon sec ou un papier filtre.

- Pesée de l'eau distillée :

Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée récemment bouillie, puis refroidie aux environs de 20°C. Peser le pycnomètre plein, muni de son bouchon s'il ya lieu, à 1mg près.

- Pesée de l'huile essentielle :

Vider le pycnomètre, puis le rincer et le sécher. Effectuer les mêmes opérations que précédemment, en remplaçant l'eau par l'échantillon pour essai.

- Expression des résultats

La densité relative,  $d_{20}^{20}$  est donnée par la formule suivante :

$$d_{20}^{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Où :

$m_0$  est la masse, en grammes, du pycnomètre vide,

$m_1$  est la masse, en grammes, du pycnomètre rempli d'eau,

$m_2$  est la masse, en grammes, du pycnomètre rempli d'huile essentielle.

- Application numérique

$$d_{20}^{20} = \frac{9.2212 - 4.8995}{9.5868 - 4.8995} = 0.9220$$

## ANNEXE 4 : DETERMINATION DE L'INDICE D'ACIDE I.A SELON

### AFNOR NF T 75-103

- Principe

On neutralise des acides libres par une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium KOH titrée.

- Réactifs

- Ethanol 90°
- Solution éthanolique d'hydroxyde de potassium titrée,  $c(\text{KOH})=0,1 \text{ N}$ .
- phénolphaléine (indicateur coloré)

- Matériels

- une fiole de 100 ml
- une pipette de capacité 5 ml
- une burette de capacité 25 ml, graduée en 0,1 ml
- une balance analytique

- Mode opératoire

On pèse  $2 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$  de l'échantillon d'huile essentielle. On introduit cette prise d'essai dans la fiole. On ajoute 5 ml d'éthanol et 5 gouttes de solution de phénolphaléine comme indicateur coloré et on neutralise le liquide avec la solution d'hydroxyde de potassium titrée contenue dans la burette.

- Expression des résultats

L'indice d'acide IA est donné par la formule :

$$IA = \frac{5.61 \times V}{m}$$

Où :

V est le volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de potassium utilisée.

m est la masse, en grammes, de la prise d'essai

- Application numérique

Nous avons pesé  $m=1.9550\text{g}$  et nous avons trouvé  $V=0.2\text{ ml}$  pour obtenir  $IA=0.57$

$$IA = \frac{5.61 \times 0.2}{1.9550} = 0.57$$

## ANNEXE 5 : DETERMINATION DE L'INDICE D'ESTER I.E SELON NF T 75-104

- Principe

On hydrolyse des esters par chauffage, dans des conditions définies, en présence d'une solution éthanolique titrée d'hydroxyde de potassium, et on dose l'excès d'alcali par une solution titrée d'acide chlorhydrique.

- Réactifs

- Ethanol 90°
- Solution éthanolique d'hydroxyde de potassium titrée,  $c(\text{KOH})=0,5 \text{ mol/l}$ .
- Solution titrée d'acide chlorhydrique,  $c(\text{HCl})=0,5 \text{ mol/l}$ .
- phénolphtaléine (indicateur coloré).

- Appareillage

- un dispositif de saponification comprenant un ballon en verre résistant aux alcalis, de capacité 100 ml à col rodé auquel peut être adapté un tube en verre à extrémité rodée, servant de réfrigérant à reflux.
- un chauffe-ballon
- une pipette de capacité 5 ml
- une burette de capacité 25 ml, graduée en 0,1 ml
- une balance analytique

- Mode opératoire

On pèse  $2 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$  de l'échantillon d'huile essentielle. On introduit cette prise d'essai dans le ballon. On ajoute à l'aide d'une burette 25 ml de la solution d'hydroxyde de potassium. Chauffer le ballon avec son contenu pendant une heure. Ensuite on laisse refroidir et on y ajoute 20 ml d'eau distillée puis 5 gouttes de la solution de phénolphtaléine. Enfin on titre l'excès d'hydroxyde de potassium avec la solution d'acide chlorhydrique.

Parallèlement à cette manipulation, nous devons effectuer un essai à blanc, dans les mêmes conditions et en utilisant les mêmes réactifs à la seule différence de l'absence de la prise d'essai.

- Expression des résultats

L'indice d'ester IE est donné par la formule :

$$IE = \frac{28.05}{m} (v_0 - v_1) - IA$$

Où :

$v_0$  est le volume, en millilitres, de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour l'essai à blanc.

$v_1$  est le volume, en millilitres, de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour la détermination

$m$  est la masse, en grammes, de la prise d'essai

IA est la valeur de l'indice d'acide déterminée précédemment selon NF T 75-103

- Application numérique

$$IE = \frac{28.05}{2.0579} (25 - 23.4) - 0.57 = 21.24$$

NB : Cette détermination peut être effectuée sur la solution provenant de la détermination de l'indice d'acide selon NF T 75-103.

## ANNEXE 6: METHODE DE CALCUL DES INDICES DE RETENTION

Il est nécessaire d'effectuer l'injection de l'EMAG pour pouvoir calculer l'indice de rétention de chaque constituant d'une huile essentielle.

On peut calculer les indices de rétention à partir de la formule suivante :

$$I(x) = 100 \times \left[ n + \frac{T_x - T_n}{T_{n+1} - T_n} \right] \quad \text{tel que} \quad T_x = 50 + 5 \times t_{R(x)}$$

Où

$n$  : nombre de carbone d'ester méthylique EMAG élué avant le constituant  $x$

$I(x)$  : Indice de rétention du composé  $x$

$T_x, T_n, T_{n+1}$  : Température de sortie du composé  $x$  et des esters méthyliques élués avant et après  $x$  respectivement

$t_{R(x)}$  : Temps de rétention du composé  $x$

## ANNEXE 7 : METHODE DE CALCUL DES INDICES DE KOVATS

Il existe une autre méthode d'identification des composés présents dans l'huile essentielle. Elle est basée sur l'étude comparative entre les indices de Kovats calculés en utilisant les alcanes linéaires et ceux publiés par la littérature. On peut calculer les indices de Kovats selon la formule :

$$I_k(x) = 100n + 100 \times \left[ \frac{\log t'_x - \log t'_n}{\log t'_m - \log t'_n} \right]$$

Où

$I_k(x)$  : Indice de kovats du composé x

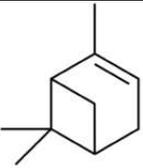
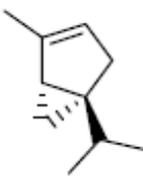
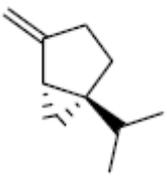
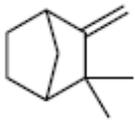
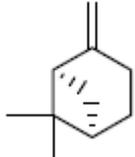
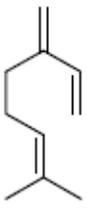
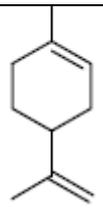
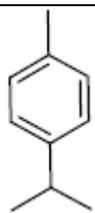
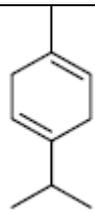
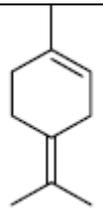
n et m: alcanes linéaires (paraffines normales) élués avant et après le composé x

$t'_x$  : temps de rétention réduit de x.

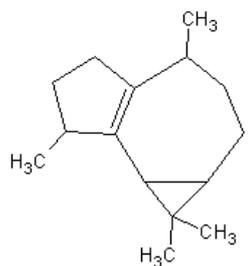
$t'_n$  : temps de rétention réduit de la paraffine normale immédiatement éluee avant x.

$t'_m$  : temps de rétention réduit de la paraffine normale immédiatement éluee après x.

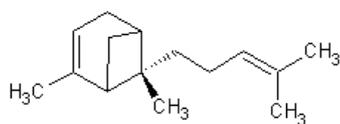
ANNEXE 8 : STRUCTURES MOLECULAIRES DES CONSTITUANTS DE L'HUILE  
ESSENTIELLE DE *ZINGIBER OFFICINALE*

LES MONOTERPENES		
 <p>1. <math>\alpha</math>-pinène</p>	 <p>2. <math>\alpha</math>-thujène</p>	 <p>3. Sabinène</p>
 <p>4. Camphène</p>	 <p>5. <math>\beta</math>-pinène</p>	 <p>6. myrcène</p>
 <p>7. Limonène</p>	 <p>8. p-cymène</p>	 <p>9. <math>\gamma</math>-terpinène</p>
 <p>10. Terpinolène</p>		

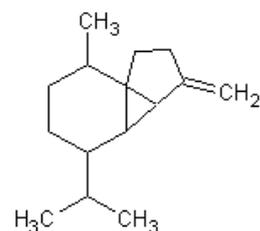
## LES SESQUITERPENES



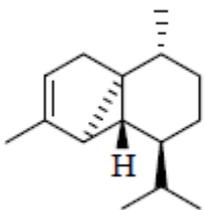
11. Isolédène



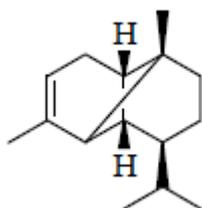
12. Cis  $\alpha$ -bergamotène



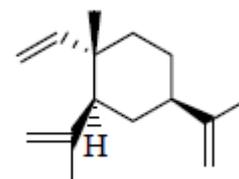
13.  $\beta$ -cubébène



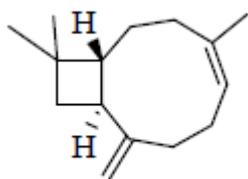
14.  $\alpha$ -cubébène



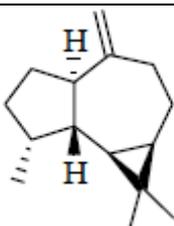
15.  $\alpha$ -copaène



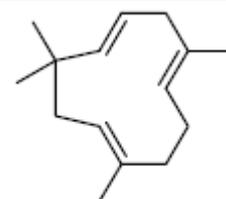
16.  $\beta$ -élémiène



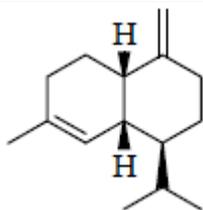
17. E-caryophyllène



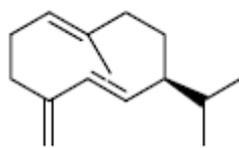
18. Alloaromadendrène



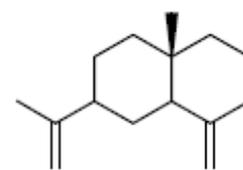
19.  $\alpha$ -humulène



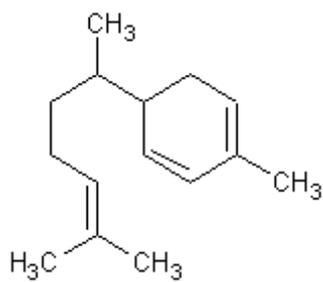
20.  $\gamma$ -muuroène



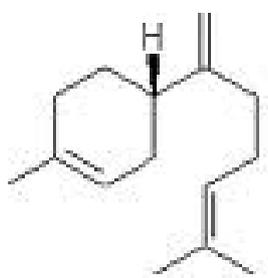
21. germacrène D



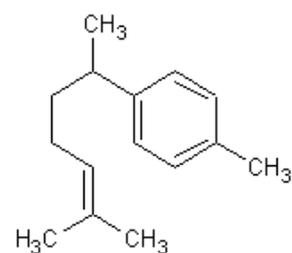
22.  $\beta$ -sélinène



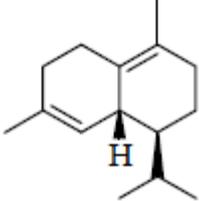
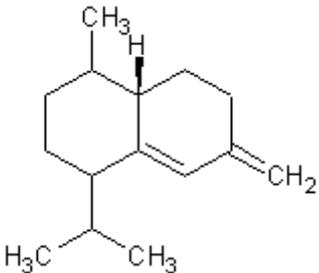
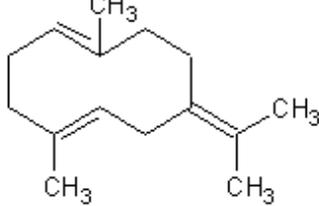
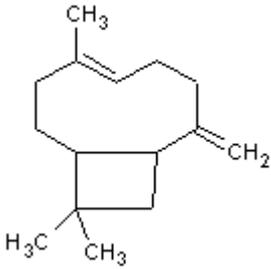
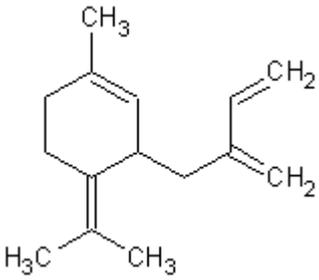
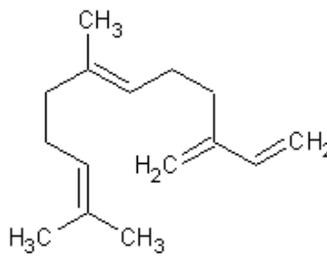
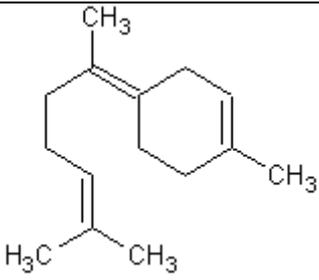
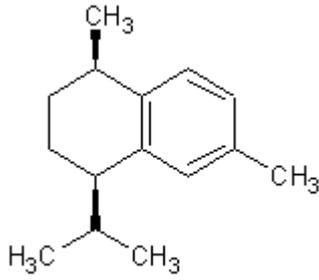
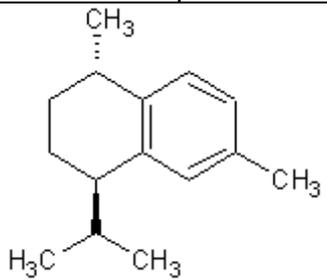
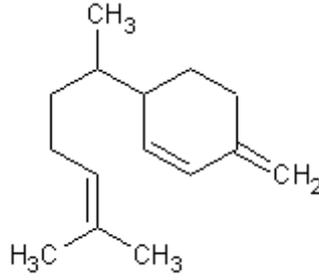
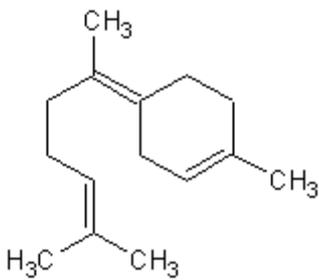
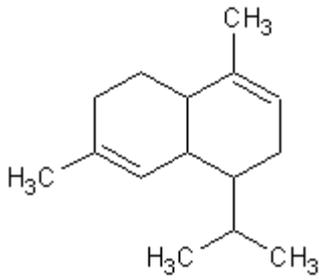
23.  $\alpha$ -zingibérène

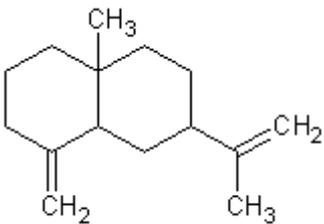
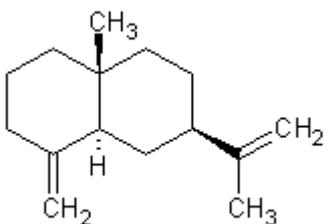
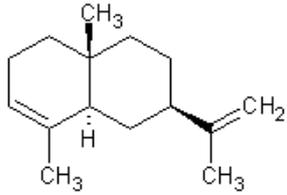
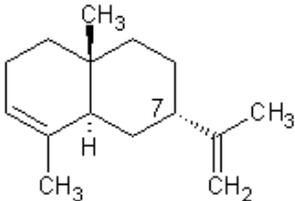
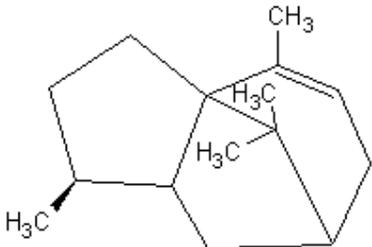
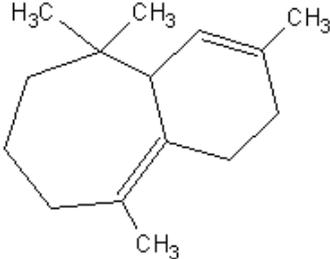
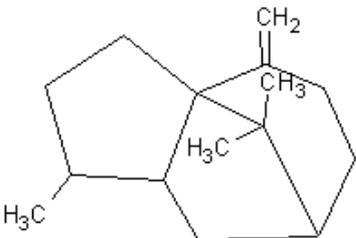


24.  $\beta$ -bisabolène

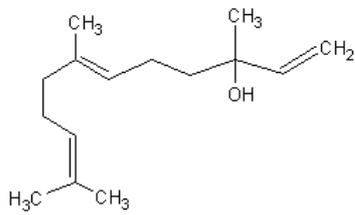


25. Ar-curcumène

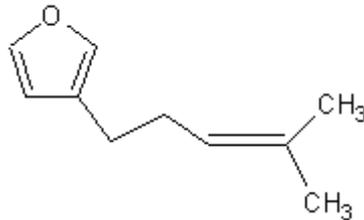
 <p>26. δ-cadinène</p>	 <p>27. Muurola 4(14),5-diène</p>	 <p>28. Germacrène B</p>
 <p>29. β-caryophyllène</p>	 <p>30. cis β-farnésène</p>	 <p>31. Trans β-farnésène</p>
 <p>32. Trans γ-bisabolène</p>	 <p>33. Calaménène (cis)</p>	 <p>34. Calaménène (trans)</p>
 <p>35. β-sesquiphellandrène</p>	 <p>36. Cis γ-bisabolène</p>	 <p>37. α-muurolène</p>

 <p>38.δ-sélinène</p>	 <p>39.β-sélinène</p>	 <p>40.α-sélinène</p>
 <p>41.7-épi-α-sélinène</p>	 <p>42.α-patchoulène</p>	 <p>43.β-Himachalène</p>
 <p>44.γ-patchoulène</p>		

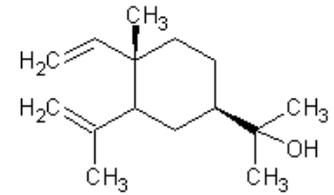
PRODUITS OXYGENES



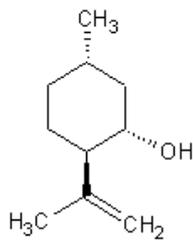
45.Néroliol (E)



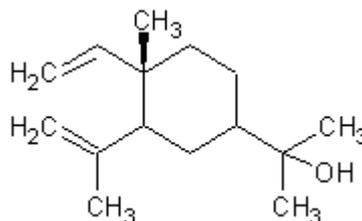
46.Perillène



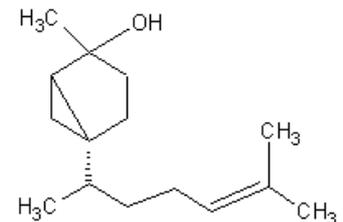
47.Elémol



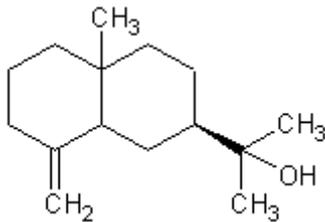
48.Néoisopulégol



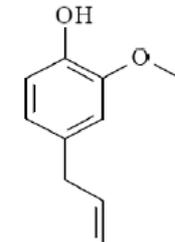
49.Elémol



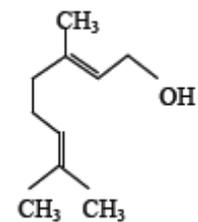
50.Sesquisabinène hydrate (Cis)



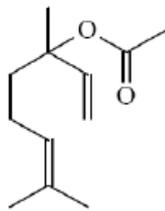
51.β-Eudesmol



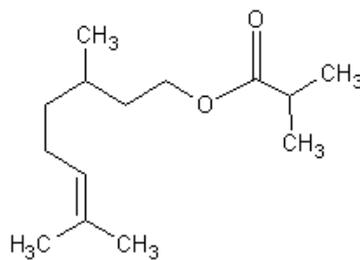
52.Eugénol



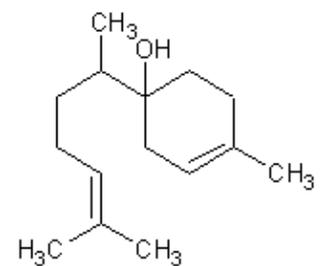
53.Géraniol



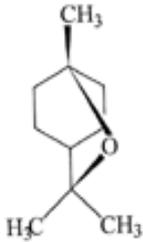
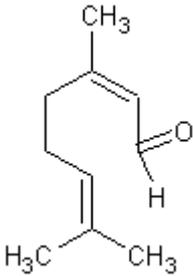
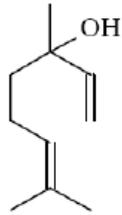
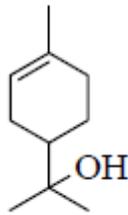
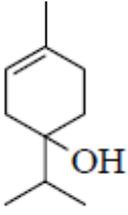
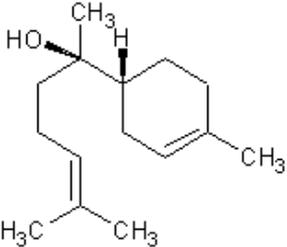
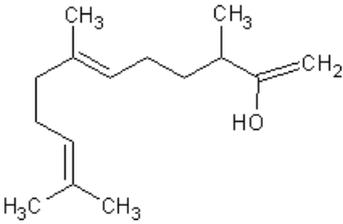
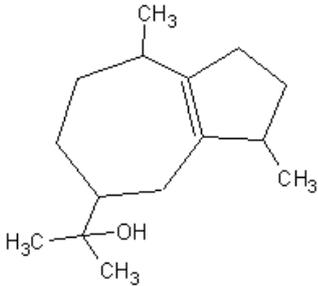
54.Acétate de linalyle



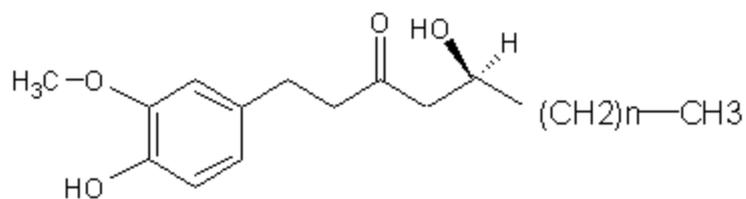
55.Isobutyrate de géranyle



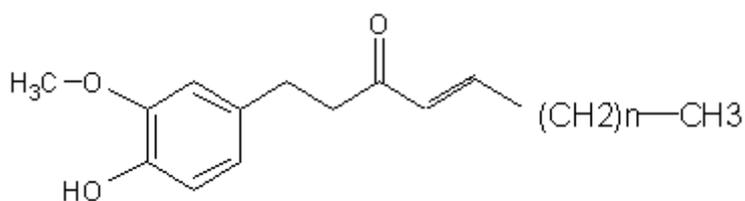
56.β-bisabolol

 <p>57. 1,8-cinéole</p>	 <p>58. Géraniol</p>	 <p>59. Linalol</p>
 <p>60. <math>\alpha</math>-terpinéol</p>	 <p>61. Terpinèn-4-ol</p>	 <p>62. <math>\alpha</math>-bisabolol</p>
 <p>63. Tans-Nérolidol</p>	 <p>64. Guaiol</p>	

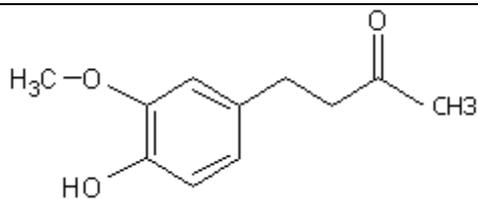
ANNEXE 9 : STRUCTURES MOLECULAIRES DE QUELQUES COMPOSES PIQUANTS CONTENUS DANS L'OLEORESINE



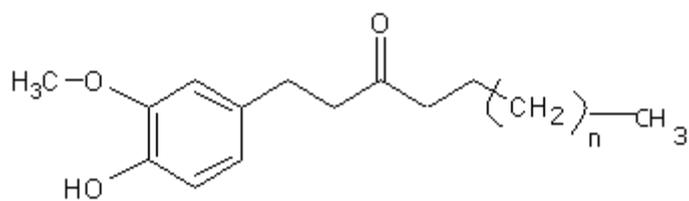
Gingérols (n=1, 3, 4, 6, 8, 10, 12)



Shogaols (n=1, 4, 6, 8, 10, 12)



Zingérone



Paradols (2, 4, 6, 8, 10)

**TABLE DES MATIERES**

INTRODUCTION GENERALE .....	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PLANTE <i>ZINGIBER OFFICINALE</i> ROSCOE ...	4
<b>I.1. Historique</b> .....	<b>4</b>
<b>I.2. Botanique de la plante</b> .....	<b>4</b>
I.2.1. Biosystématique du gingembre .....	4
I.2.2. Dénominations .....	5
I.2.3. Variétés .....	6
I.2.4. Description botanique.....	6
<b>I.3. Distribution géographique</b> .....	<b>8</b>
I.3.1. Dans le monde .....	8
I.3.2. A Madagascar .....	8
<b>I.4. Ecologie</b> .....	<b>10</b>
I.4.1. Exigences climatiques.....	10
I.4.2. Exigences pédologiques .....	10
I.4.3. Pédologie et climatologie de l'Est : région la plus productive en gingembre à Madagascar .....	10
<b>I.5. Cycle végétatif</b> .....	<b>13</b>
<b>I.6. Production mondiale et locale de gingembre</b> .....	<b>13</b>
<b>I.7. Marché mondial et local de gingembre</b> .....	<b>14</b>
<b>I.8. Composition chimique du rhizome de gingembre</b> .....	<b>16</b>
<b>I.9. Propriétés et utilisations</b> .....	<b>17</b>
I.9.1. Propriétés pharmacologiques.....	17
I.9.2. Utilisations.....	18
<b>I.10. Précautions</b> .....	<b>19</b>

I.11. Différentes transformations du gingembre à Madagascar .....	20
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LES HUILES ESSENTIELLES.....	21
<b>II.1. Huiles essentielles.....</b>	<b>21</b>
II.1.1. Définition .....	21
II.1.2. Procédés d'obtention.....	21
<b>II.2. Concrète, pommade florale, résinoïde et absolue .....</b>	<b>24</b>
II.2.1. Définitions .....	24
II.2.2. Procédés d'obtention.....	24
<b>II.3. Oléorésines d'épices .....</b>	<b>26</b>
<b>II.4. Caractérisation des huiles essentielles .....</b>	<b>29</b>
II.4.1. Caractéristiques organoleptiques.....	29
II.4.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	29
<b>II.5. Composition chimique des huiles essentielles .....</b>	<b>30</b>
II.5.1. Terpénoïdes .....	30
II.5.2. Composés aromatiques .....	30
II.5.3. Composés d'origines diverses .....	31
<b>II.6. Production des huiles essentielles à Madagascar et leur exportation .....</b>	<b>31</b>
II.6.1 Production des huiles essentielles à Madagascar.....	31
II.6.2 Evolution de l'exportation des huiles essentielles allant de l'année 2005 à l'année 2009.....	32
CHAPITRE III : TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>ZINGIBER OFFICINALE</i> ROSCOE.....	33
<b>III.1. Localisation de l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe .....</b>	<b>33</b>
<b>III.2. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> à Madagascar et dans le monde.....</b>	<b>33</b>
<b>III.3 Propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> à Madagascar et dans le monde.....</b>	<b>34</b>

<b>III.4. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe dans le monde.....</b>	<b>35</b>
<b>III.5. Composition chimique de : l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> Roscoe à Madagascar .....</b>	<b>40</b>
<b>III.6. Propriétés et applications de l'huile essentielle de gingembre (<i>Zingiber officinale</i>).....</b>	<b>43</b>
III.6.1 Propriétés.....	43
III.6.2 Applications.....	43
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	44
CHAPITRE IV : ETUDE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>ZINGIBER OFFICINALE</i> ROSCOE.....	45
<b>IV.1. Matériel végétal .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.2. Extraction de l'huile essentielle .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3. Rendement.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4. Caractéristiques organoleptiques.....</b>	<b>47</b>
<b>IV.5. Détermination des indices physico-chimiques .....</b>	<b>48</b>
IV.5.1. Indices physiques .....	48
IV.5.2 Indices chimiques .....	49
<b>IV.6. Analyse chromatographique de l'huile essentielle obtenue .....</b>	<b>50</b>
IV.6.1. Matériel et méthode .....	50
IV.6.2. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Zingiber officinale</i> .....	52
<b>IV.7. Cinétique d'extraction.....</b>	<b>58</b>
CHAPITRE V : ETUDE DE LA VARIABILITE DE LA COMPOSITION DE L'HUILE ESSENTIELLE DE <i>ZINGIBER OFFICINALE</i> DE MADAGASCAR SELON LA PERIODE DE RECOLTE .....	64
CONCLUSION GENERALE .....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	78

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES ..... 82

**Auteur** : ANDRIATSIHOARANA Sitraka Mbolanirina

**Adresse** : Lot II K 36 C ter Mahatony – ANTANANARIVO 101

**Tél** : 034 40 411 04 – 033 05 647 19

**E-mail** : sitrakambol@yahoo.fr

**Titre** : « CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE GINGEMBRE EN VUE D'UNE MEILLEURE EXPLOITATION »

**Nombre de pages** : 82

**Nombre de tableaux** : 24

**Nombre de figures** : 18

### RESUME

Le gingembre connu sous le nom scientifique *Zingiber officinale* Roscoe est une plante tropicale aromatique, originaire d'Asie et cultivée à Madagascar sur la côte Est et les zones des Hautes Terres. La production nationale annuelle vaut 4000 tonnes par an. L'huile essentielle issue des rhizomes frais de gingembre peut être obtenue par hydrodistillation, le rendement d'extraction étant égal à 0.4%. L'huile essentielle présente des intérêts dans différents domaines : thérapeutique, cosmétique et alimentaire. L'exportation nationale de celle-ci représente moins de 0.6% de la totalité des huiles essentielles exportées par le pays. L'huile essentielle de gingembre malgache possède comme constituants majoritaires : le  $\beta$ -bisabolène ou le camphène ou l' $\alpha$ -zingibérène, selon les conditions subies par les rhizomes. Nous pouvons constater une variation de la composition chimique de l'huile durant la période de récolte étudiée (de Décembre à Mai).

Mots clés : gingembre, *Zingiber officinale* Roscoe, huile essentielle, rendement, propriétés physico-chimiques, composition chimique, variabilité.

### SUMMARY

*Zingiber officinale* Roscoe or ginger is an aromatic tropical plant, original of Asia and cultivated to Madagascar on the East coast and the zones of the High Earths. The yearly national production is worth 4000 tons per year. The essential oil stemming from the ginger rhizomes can be gotten by hydrodistillation, the yield of extraction being equal to 0.4%. The essential oil presents some interests in different domains: therapeutic, cosmetic and food. The national export of this one represents less 0.6% of the totality of essential oils exported by the country. The essential oil of Malagasy ginger possesses as constituent majority: the  $\beta$ -bisabolene or camphène and  $\alpha$ -zingiberene according to the conditions undergone by the rhizomes. We can note a variation of the chemical composition of oil during the period of studied harvest (December to May).

Key words: ginger, *Zingiber officinale* Roscoe, essential oil, yield, physico-chemical properties, chemical composition, variability.

**Rapporteur** : Monsieur RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné

**Encadreur** : Monsieur RAZAFIMANDEFITRA André