



THÈSE

Présentée à l'Université de Ouagadougou
pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE TROISIÈME CYCLE

Spécialité : Chimie Organique Appliquée

Option : Substances Naturelles à Propriétés Pesticides et Pharmacologiques

par

Alfa Keita DJIBO

Maitre ès sciences

Diplômé d'Études Approfondies

THÈME :

ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES DE QUELQUES PLANTES DE LA FLORE DU BURKINA FASO APPARTENANT AUX FAMILLES DES LAMIACEAE (*Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* Poit., *Ocimum americanum* L.) ET DES POACEAE (*Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng, *Cymbopogon giganteus* Chiov et *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.

Soutenance publique le 02 mai 2000 devant la commission d'examen :

Président : Faustin Sié SIB, Professeur, Université de Ouagadougou

Examineurs : Mouhoussine NACRO, Professeur, Université de Ouagadougou
Adama SABA, Maître de Conférences, Université de Ouagadougou
Jean PIRO, Docteur d'Etat, Université de Ouagadougou
Marie KOUDA-BONAFOS, Maître de Conférences, Université de Ouagadougou
Jeanne MILLOGO-RASOLODIMBY, Maître assistant, Université de Ouagadougou
Dorosso Abdoul SAMATÉ, Maître assistant, Université de Ouagadougou

DÉDICACES

Je dédie cette thèse

À la mémoire de mon père

**À la mémoire de ma mère décédée quelques jours avant la
soutenance de cette thèse.**

À la mémoire de ma soeur

À la mémoire de ma tante

À mes frères : Issoufou, Aboubacar, Halidou et Mounkailla.

À Monsieur Douma Keillou pour ses inlassables efforts.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance et mes vifs remerciements à Monsieur le Professeur Mouhoussine NACRO pour m'avoir accepté dans son laboratoire et pour avoir guidé mes premiers pas dans la recherche, en dirigeant ce travail. Je garde de ce contact ses grandes qualités humaines, son dynamisme et sa très grande rigueur scientifique. Malgré votre absence physique vous avez œuvré à l'aboutissement de ce travail et nous vous en sommes très reconnaissants.

Que le Professeur Marie KOUDA-BONAFOS trouve ici mes sincères remerciements pour les précieux conseils qu'elle m'a prodigués et qui ont permis la réalisation de travail. Je la remercie également pour avoir accepté de le juger.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur Faustin Sié SIB pour avoir accepté de présider ce jury. Le premier séminaire régional de spectrométrie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) à l'Université de Ouagadougou et les journées de la SOACHIM qu'il a initiés ont été une expérience enrichissante, qui nous a permis de côtoyer des chercheurs plus expérimentés.

Que Monsieur le Professeur Khalid IKIRI trouve ici toute ma reconnaissance. Je tiens à lui renouveler mes remerciements pour avoir contribué à ma formation à l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

Je renouvelle mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur Adama SABA, qui a grandement contribué à l'amélioration de ce document par ses remarques pertinentes et qui a accepté, malgré ses multiples occupations de juger ce travail.

Mes remerciements à Monsieur le Professeur Jean PIRO pour avoir contribué à ma formation et qui malgré ses multiples occupations a accepté de siéger dans ce jury. C'est pour nous un réel encouragement.

Je remercie les Professeurs Dan Dicko DAN KOULODO°, Michel PUJOLE, Siméon T. KABRE, TRAORE Harouna, Guy Venance OUEDRAOGO, Bernard KAM°, Jean LEGMA, Ali BAHOUN pour leurs contributions à ma formation. Ce n'est que justice de leur réaffirmer ici toute mon estime et ma

reconnaissance.

Que le professeur Michel PUJOLE soit assuré de ma détermination à aller de l'avant.

Je voudrais renouveler mes vifs remerciements au Professeur Gérard LAMATY pour sa franche collaboration.

Qu'il me soit permis de remercier le Docteur Dorosso Abdoul SAMATÉ .Ses démarches nous ont permis d'effectuer la grande partie de nos analyses dans le Laboratoire de Chimie Organique Physique du Professeur Gérard LAMATY. Ses précieux conseils au cours des manipulations et de la rédaction ont été indispensables à l'aboutissement de ce travail.

Toute ma gratitude au Docteur Jeanne MLLOGO-RASOLODIMBY pour l'aide apportée dans l'identification du matériel végétal et pour les remarques pertinentes ayant permis l'amélioration de ce document. Qu'elle soit également remerciée pour avoir accepté de juger ce travail, malgré ses multiples occupations. Qu'elle trouve ici l'expression de ma considération et mes sincères remerciements.

Je voudrais une fois de plus renouveler mon estime et ma considération au Docteur Amadou ILAGOUMA pour avoir contribué à ma formation.

Que le Docteur Abdoulaye SÉRÉMÉ trouve ici l'expression de ma sincère amitié renouvelée.

Je tiens à renouveler mes remerciements à tous ceux qui de façon sincère m'ont témoigné leur amitié et qui n'ont cessé de m'encourager : je pense aux Docteurs Amado S. OUIMINGA, Aboubacar YOBI et Longin SOMÉ.

Mes remerciements à Monsieur Justin NIKIÈMA, Technicien supérieur. Sa constante disponibilité, son aide multiforme et ses encouragements ont été déterminants dans la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui par leur attitude ou par leurs encouragements m'ont permis d'aller de l'avant.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES	
CHAPITRE I : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES SUR L'ÉTUDE DES HUILES ESSENTIELLES	3
1 INTRODUCTION	3
2 COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE HUILE ESSENTIELLE ET STRUCTURES DES CONSTITUANTS	4
2.1 Composition chimique d'une huile essentielle	4
2.2 Structures de quelques constituants des huiles essentielles	5
3 BIOSYNTHÈSE DES HUILES ESSENTIELLES	9
3.1 La Condensation	9
3.2 La Cyclisation	12
3.3 Les transformations secondaires	20
4 RÔLE D'UNE HUILE ESSENTIELLE DANS LA PLANTE	21
5 DOMAINE D'UTILISATION DES HUILES ESSENTIELLES	21
6 MÉTHODE D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES	22
6.1 Méthodes d'extraction	22
6.2 Méthodes d'analyse	23
7 LABILITÉ DES HUILES ESSENTIELLES	26
8 MÉTHODES DE CONSERVATION DES HUILES ESSENTIELLES	26
9 FACTEURS INFLUENÇANT LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE HUILE ESSENTIELLE	29
10 CONCLUSION	30
CHAPITRE II : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES SIX ESPÈCES AROMATIQUES ÉTUDIÉES	31
1 LES TROIS ESPÈCES AROMATIQUES DE LA FAMILLE DES LAMIACEAE	31
1.1 INTRODUCTION	31
1.2. <i>Hyptis spicigera</i> Lam.	33
1.2.1 Botanique et utilisation traditionnelle	33
1.2.2 Analyse de l'huile essentielle	34

1.3	<i>Hyptis suaveolens</i> Poit	35
1..3.1	Botanique et utilisation traditionnelle	35
1.3.2	Analyse de l'huile essentielle	36
1.4	<i>Ocimum americanum</i> L. Synonyme <i>Ocimum canum</i> Sims	37
1.4.1	Botanique et utilisation traditionnelle	37
1.4.2	Analyse de l'huile essentielle	38
2	LES TROIS ESPÈCES AROMATIQUES DE LA FAMILLE DES POACEAE	39
2.1	INTRODUCTION	39
2.2	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng	40
2.2.1	Botanique et utilisation traditionnelle	40
2.2.2	Analyse de l'huile essentielle	41
2.3	<i>Cymbopogon giganteus</i> Chiov.	41
2.3.1	Botanique et utilisation traditionnelle	41
2.3.2	Analyse de l'huile essentielle	42
2.4	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf	43
2.4.1	Botanique et utilisation traditionnelle	43
2.4.2	Analyse de l'huile essentielle	43
2.5	CONCLUSION	44
DEUXIÈME PARTIE : RÉSULTATS DES ANALYSES ET DISCUSSION		
CHAPITRE I : EXTRACTION ET ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES DES TROIS ESPÈCES AROMATIQUES DE LA FAMILLE DES LAMIACEAE		
1	INTRODUCTION	45
2	<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	46
3	<i>Hyptis suaveolens</i> Poit	52
4	<i>Ocimum americanum</i> L. synonyme <i>Ocimum canum</i> Sims	58
5	CONCLUSION	89
CHAPITRE 2 : EXTRACTION ET ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES DES TROIS ESPÈCES AROMATIQUES DE LA FAMILLE DES POACEAE		
1	INTRODUCTION	90
2	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng	90

3	<i>Cymbopogon giganteus</i> Chiov.	109
4	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf	111
5	CONCLUSION	114
	CONCLUSION GÉNÉRALE	115
	BIBLIOGRAPHIE	119
	PARTIE EXPÉRIMENTALE	134
1.	MÉTHODES D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES	134
1.1.	matériel végétal	134
1.2.	hydrodistillation	136
2.	ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES	137
2.1.	Analyse des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse	137
2.2.	Identification des constituants des huiles essentielles par calcul des indices de rétention	137
2.3.	Analyse des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GPG/SM)	138
3.	Distillation sous pression réduite	139
4.	Fractionnement de l'huile essentielle de <i>Ocimum americanum</i> par chromatographie sur colonne	140
5.	Spectrométrie dans l'infrarouge	140
6.	Produits chimiques	140
	ANNEXES	
	ANNEXE I : STRUCTURES DES AUTRES COMPOSÉS IDENTIFIÉS	
	ANNEXE II : SPECTRES DE MASSE DE QUELQUES COMPOSÉS IDENTIFIÉS	

INTRODUCTION GÉNÉRALE.

Les principales réactions chimiques que l'on rencontre dans les végétaux supérieurs sont celles du métabolisme primaire, qui conduisent à la synthèse des composés nécessaires à l'accomplissement des fonctions fondamentales de la plante (croissance, reproduction). Au delà des processus métaboliques de base et primordiaux des fonctions vitales, les transformations biochimiques du métabolisme secondaire conduisent à la synthèse d'un grand nombre de composés, appelés produits naturels^[1, 2].

L'un des aspects le plus important de la chimie organique est celui lié à l'étude des composés organiques du métabolisme secondaire, contenus dans les cellules des espèces végétales. Ces composés appelés métabolites secondaires forment un très vaste ensemble de substances comprenant les terpénoïdes, les stéroïdes, les alcaloïdes, les composés phénoliques, les tanins ^[1,2, 3, 4, 5] etc.

On peut trouver les terpénoïdes dans le règne animal, mais la très grande majorité de ces composés est spécifique du règne végétal. Les plantes aromatiques supérieures en particulier, sont dotées de glandes capables de synthétiser des principes volatils, appelés huiles essentielles dont les principaux constituants sont des terpénoïdes (mono et sesquiterpènes principalement). Communément appelées essences naturelles, les huiles essentielles sont des liquides volatils, que l'on peut extraire par diverses techniques ; la plus simple et la plus courante étant l'hydrodistillation. Elles sont responsables de l'odeur caractéristique, le plus souvent agréable, des fleurs et des végétaux supérieurs ^[1, 2]. En général, les teneurs en huile essentielle (exprimées en ml pour 100g de matériel végétal frais ou sec) sont faibles. Elles sont très souvent inférieures à 1 %. Des teneurs élevées de l'ordre de 15 % sont exceptionnelles ^[6].

L'utilisation des huiles essentielles dans l'industrie agro-alimentaire, sous forme d'épices ou d'aromates pour leurs propriétés organoleptiques et dans l'industrie des parfums et cosmétiques, est à la base de l'intérêt économique des plantes aromatiques, malgré l'arrivée sur le marché des produits de synthèse. Cela est d'autant plus vrai que de nos jours, la tendance est aux produits d'origine naturelle, surtout dans le domaine agro-alimentaire.

Les huiles essentielles présentent également un intérêt scientifique en plus de celui économique; en témoignent le nombre de publications rencontrées à ce sujet, dans la littérature et le nombre d'espèces végétales dont les essences sont commercialisées ^[1]. L'intérêt scientifique et économique des essences naturelles réside par ailleurs, dans le fait que l'investigation systématique des plantes aromatiques procure souvent de nouvelles molécules, qui servent de modèles pour la synthèse industrielle d'analogues structuraux.

Si la parfumerie et la cosmétique sont les débouchés principaux des huiles essentielles et qui ont d'ailleurs permis l'industrialisation de la production des essences naturelles, il est à noter que les huiles essentielles présentent aussi un intérêt médicinal. En effet, l'emploi des huiles essentielles en

thérapeutique est en relation avec leurs propriétés pharmacologiques diverses. Parmi les huiles essentielles, on rencontre des antiseptiques, des eupeptiques et des carminatifs, des stimulants du système nerveux central, des stomachiques, des antispasmodiques, des cholérétiques, des vermifuges. Il existe des huiles essentielles commercialisées sous le label d'essence officinale ^[1].

Plusieurs pays tirent un grand profit de l'exploitation des plantes aromatiques. En effet, on estime à environ 40 000 le nombre d'espèces aromatiques croissant dans le monde dont 3000 ont été étudiées et 300 exploitées industriellement ^[7]. La grande majorité des espèces à étudier et à valoriser poussent dans les pays tropicaux. En ce qui concerne l'Afrique, compte tenu de la richesse de sa flore et de la diversité des espèces rencontrées, la composition chimique des huiles essentielles d'un grand nombre de ces espèces reste à déterminer.

Comme produits du métabolisme secondaire, les huiles essentielles jouent un rôle dans l'écologie de la plante, notamment dans les interactions plantes-plantes et dans les interactions plantes-insectes. C'est ainsi que la plupart des huiles essentielles ont des propriétés allélopathiques ou pesticides ^[1, 6, 7]. En agriculture, la tendance est à la recherche de méthodes alternatives à la lutte chimique dont les dangers sont bien connus pour l'homme et son environnement ^[8]. À cet effet, l'utilisation des pesticides naturels d'origine végétale est envisagée à côté d'autres méthodes (lutte intégrée et lutte biologique) comme alternative aux pesticides de synthèse.

En Afrique, de nombreuses espèces aromatiques sont utilisées de façon traditionnelle par les paysans dans la préservation des stocks ^[9], de plus, dans le domaine des pesticides naturels, les espèces de la famille des Lamiaceae ont été rapportées par JACOBSON ^[10] parmi les plus prometteuses. En aromathérapie, les extraits volatils de plusieurs espèces des familles des Lamiaceae ^[11] et des Poaceae ^[12] sont utilisées dans le traitement de divers maux. La vérification des fondements scientifiques de ces pratiques traditionnels (par l'extraction, l'analyse des principes volatils et la mise en évidence des composés à propriétés pesticides) justifie l'étude des espèces aromatiques de la flore du Burkina faso appartenant à ces deux familles.

La première partie de ce mémoire est consacrée aux données bibliographiques sur l'étude des huiles essentielles et sur les six espèces végétales aromatiques étudiées.

Dans la seconde partie, nous donnons les résultats des extractions et des analyses des huiles essentielles de ces plantes aromatiques. Dans chaque cas, nous discutons de ces résultats et mettons en exergue leurs originalités.

Cette étude est une contribution à une meilleure connaissance de la composition chimique des huiles essentielles des plantes aromatiques du Burkina Faso, en vue de leur valorisation.

PREMIÈRE PARTIE :
DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES SUR L'ÉTUDE DES HUILES ESSENTIELLES

1 INTRODUCTION

La norme AFNOR NF T 75-006 (octobre 1987) définit une huile essentielle comme : “le produit obtenu à partir d’une matière végétale, soit par entraînement à la vapeur d’eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l’épiderme de Citrus, soit par distillation à sec. L’huile essentielle étant ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques”.

Les huiles essentielles n’existent quasiment que dans les végétaux supérieurs. Selon BRUNETON^[1], les genres capables de les synthétiser, sont répartis dans une cinquantaine de familles, dont les Lamiaceae, les Asteraceae, les Rutaceae, les Lauraceae, les Magnoliaceae. Selon cet auteur, seules les espèces de la famille des Violaceae semblent n’élaborer ni monoterpène, ni sesquiterpène.

En ce qui concerne les espèces de la famille des Poaceae, MILLOGO-RASOLOUDIMBY et al.^[12] ont rapporté la présence d’une huile essentielle dans les différents organes (feuilles, rhizomes et inflorescences) de certaines espèces dont *Cymbopogon schoenanthus*.

Les huiles essentielles sont connues et utilisées à des fins diverses, depuis l’antiquité, quand l’homme a découvert les méthodes simples permettant de les extraire^[13]. En effet, environ quatre mille ans avant l’ère chrétienne, les Egyptiens, les Grecs, les Perses, les Hébreux, les Indiens, les Chinois et les Romains exploitaient leurs propriétés en parfumerie et leurs diverses vertus médicinales. Certaines, comme l’huile essentielle du bois de cèdre ont même joué un rôle historique. Extraite par distillation sèche, les Egyptiens l’utilisaient comme baume au cours des cérémonies mortuaires^[7].

Au treizième siècle l’essence de romarin avait été signalée dans un traité médical, en raison de ses propriétés curatives^[7].

Les huiles essentielles ont également été utilisées pour combattre la peste en 1720, la grippe espagnole en 1918, la dysenterie amibienne, les maladies pulmonaires en 1938 et en 1947^[7]. La découverte vers 1754 de l’eau de Cologne par FEMINIS, un négociant italien, avait ouvert la voie à l’utilisation des huiles essentielles ou de certains de leurs constituants purs, dans l’industrie de la parfumerie et des cosmétiques, avec au 19^{ème} siècle, la création de compagnies comme Schimmel & Co en Allemagne^[13]. Depuis l’isolement du cadinène et du caryophyllène par WALLACH^[14] à la fin du 19^{ème} siècle et les premières descriptions structurales des sesquiterpènes (farnésol en 1913), le nombre de molécules connues n’a cessé de croître. Les huiles essentielles de plusieurs milliers de plantes aromatiques ont été analysées ; la structure de plus d’une centaine de squelettes différents de

sesquiterpènes est élucidée [1].

Les progrès réalisés en chimie organique ont permis la synthèse et la mise sur le marché d'analogues structuraux des constituants des huiles essentielles (synthèse industrielle de la vanilline, de l'anéthole, etc.). Avec l'arrivée sur le marché des produits de synthèse, une nouvelle voie de valorisation des huiles essentielles a vu le jour.

De nos jours, les huiles essentielles trouvent une application en parfumerie. Leur emploi dans la vie courante est aussi en relation avec leurs propriétés biologiques ou pharmacologiques (pouvoir antiseptique, propriétés antispasmodiques et sédatives, irritantes, cicatrisantes et cholérétiques, etc.). L'importance économique des huiles essentielles et l'intérêt du public pour les médecines douces, en particulier l'aromathérapie, ont permis le développement de leur étude et les technologies de leur exploitation [1, 7].

2. COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE HUILE ESSENTIELLE ET STRUCTURES DES CONSTITUANTS.

2.1. Composition chimique d'une huile essentielle

Une huile essentielle est un mélange plus ou moins complexe de composés chimiques, généralement liquides à la température ambiante (30 à 40° C). Il a été démontré que les huiles essentielles sont constituées principalement de quatre grands groupes de composés :

- les terpénoïdes (mono et sesquiterpènes principalement) ;
- les dérivés benzéniques ;
- les hydrocarbures aliphatiques et,
- les composés non spécifiques pouvant contenir dans leurs structures des atomes d'azote ou de soufre [1, 7].

L'analyse des huiles essentielles montre que certaines essences sont constituées d'un composant nettement majoritaire à côté d'une dizaine d'autres minoritaires. D'autres, par contre, sont particulièrement complexes et peuvent contenir plus d'une centaine de composés. On peut donner comme exemple dans le premier cas, l'huile essentielle de girofle (*Eugenia caryophyllata*), qui contient 80 % d'eugénol, 10 % de β -caryophyllène et des petites quantités d'une dizaine d'autres produits ; dans le second cas, citons en exemple l'essence de vétiver (*Vetiveria nigriflora*) qui contient 160 constituants dont le plus abondant ne dépasse pas 8 % [7].

Une huile essentielle est classée en utilisant comme critère son constituant le plus abondant.

Celui-ci peut être un hydrocarbure monoterpénique (pinène, limonène) ou sesquiterpénique (β -caryophyllène, α -humulène), un alcool (géraniol, linalol), un époxyde (cinéole), un aldéhyde (géraniol ou néral), un composé phénolique (le thymol), l'anéthole, etc. Par exemple, une étude bibliographique réalisée par OUAMBA ^[17], montre l'existence, à travers le monde de deux chimiotypes de *Cymbopogon citratus* dont les constituants majoritaires sont le citral ou le géraniol.

Selon GLASBY ^[15], les mono et sesquiterpènes constituent les principaux composants des huiles essentielles. La grande réactivité des intermédiaires cationiques qui se forment au cours de leur biosynthèse, explique la diversité de leurs structures. Ils sont estimés entre 5000 à 6000, ils représentent moins du 1/1000 de tous les produits chimiques connus.

2.2. Structure de quelques constituants des huiles essentielles

La plupart des constituants des huiles essentielles sont des terpènes. La particularité la plus marquante des terpènes est la présence dans leur structure, du squelette carboné de l'isopentane ou 2-méthylbutane, qui constitue l'unité fondamentale (figure 1). Ce fait a été remarqué pour la première fois, en 1887 par WALLACH ^[14], qui l'énonça sous forme de règle isoprénique. D'après cette règle, les composants des huiles essentielles sont synthétisés au sein de la plante par l'enchaînement "tête à queue" de 2 à 3 motifs isopréniques, unité à cinq atomes de carbone. Ceci permet d'établir une classification formelle fondée sur le nombre d'unités isopréniques constitutives. Le classement des terpènes en fonction du nombre d'unités isopréniques, revient à un classement d'après le nombre d'atomes de carbone qu'ils renferment. Ainsi, les monoterpènes sont constitués de 10 atomes de carbone (ou deux unités isopréniques), les sesquiterpènes de 15 atomes de carbone (ou trois unités isopréniques), les diterpènes de vingt atomes de carbone (ou quatre unités isopréniques), les triterpènes de trente atomes de carbone (ou 6 unités isopréniques), les tétraterpènes de quarante atomes de carbone (ou 8 unités isopréniques), etc. ^[16]. Rappelons que selon l'encyclopédie des terpénoïdes de GLASBY ^[15], les di, tri, tétra et polyterpènes, qui ne sont pas des principes volatils, ne sont pas des constituants des huiles essentielles.

Les terpènes peuvent aussi être classés en fonction du nombre de cycles contenus dans leurs structures. On peut distinguer ainsi, les terpènes acycliques, monocycliques, bicycliques, tricycliques, etc. ^[16]. Les figures 2 et 3 donnent les structures de quelques mono et sesquiterpènes couramment rencontrés dans les huiles essentielles. L'observation attentive de ces composés, montre une ressemblance structurale entre certains monoterpènes et certains sesquiterpènes, comme par exemple l' α -pinène et l' α -bergamotène, le linalol et le nérolidol, l' α -terpinéol et l' α -bisabolol (figures 2 et 3).

On suppose donc qu'il y a une très grande stéréo-sélectivité lors de la biosynthèse de ces composés au sein de la plante, sinon on ne peut comprendre la formation de structures si peu différentes.

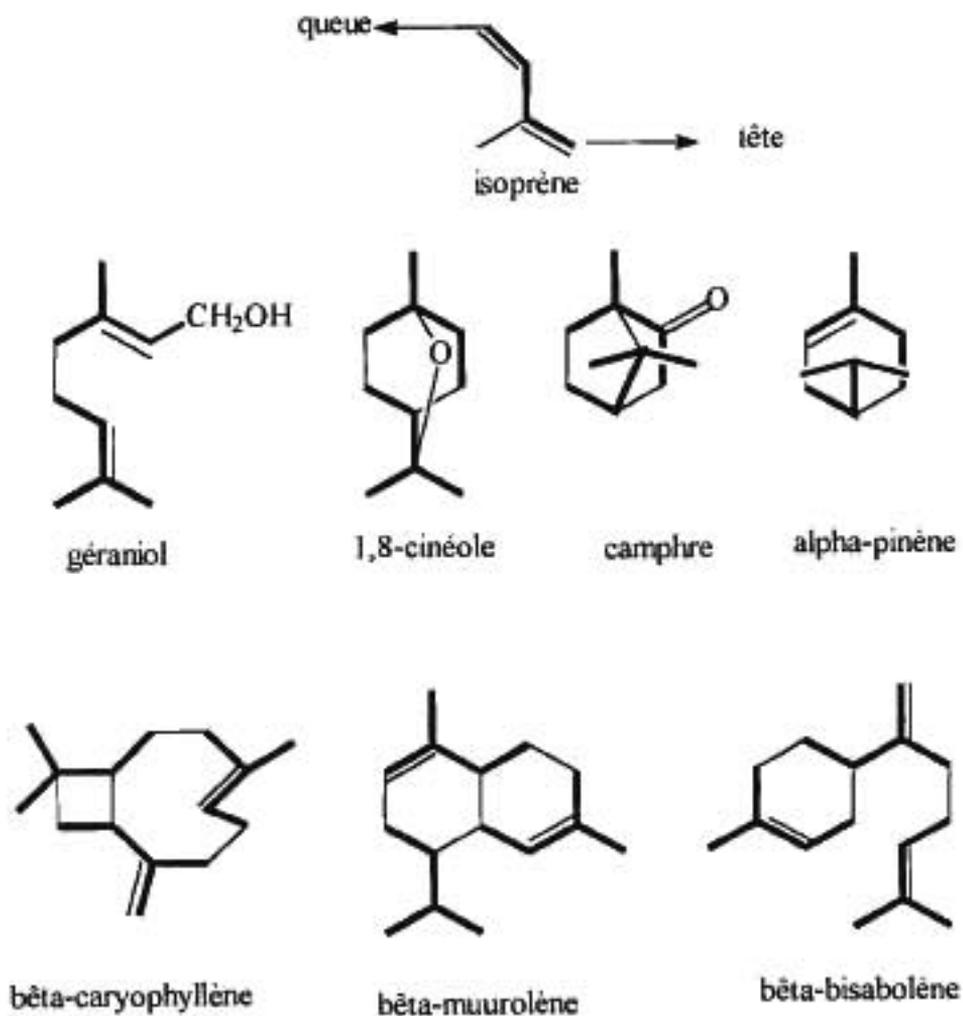


Fig. 1 : Fragmentation de quelques mono et sesquiterpènes en unités isopréniques ^(2, 7)

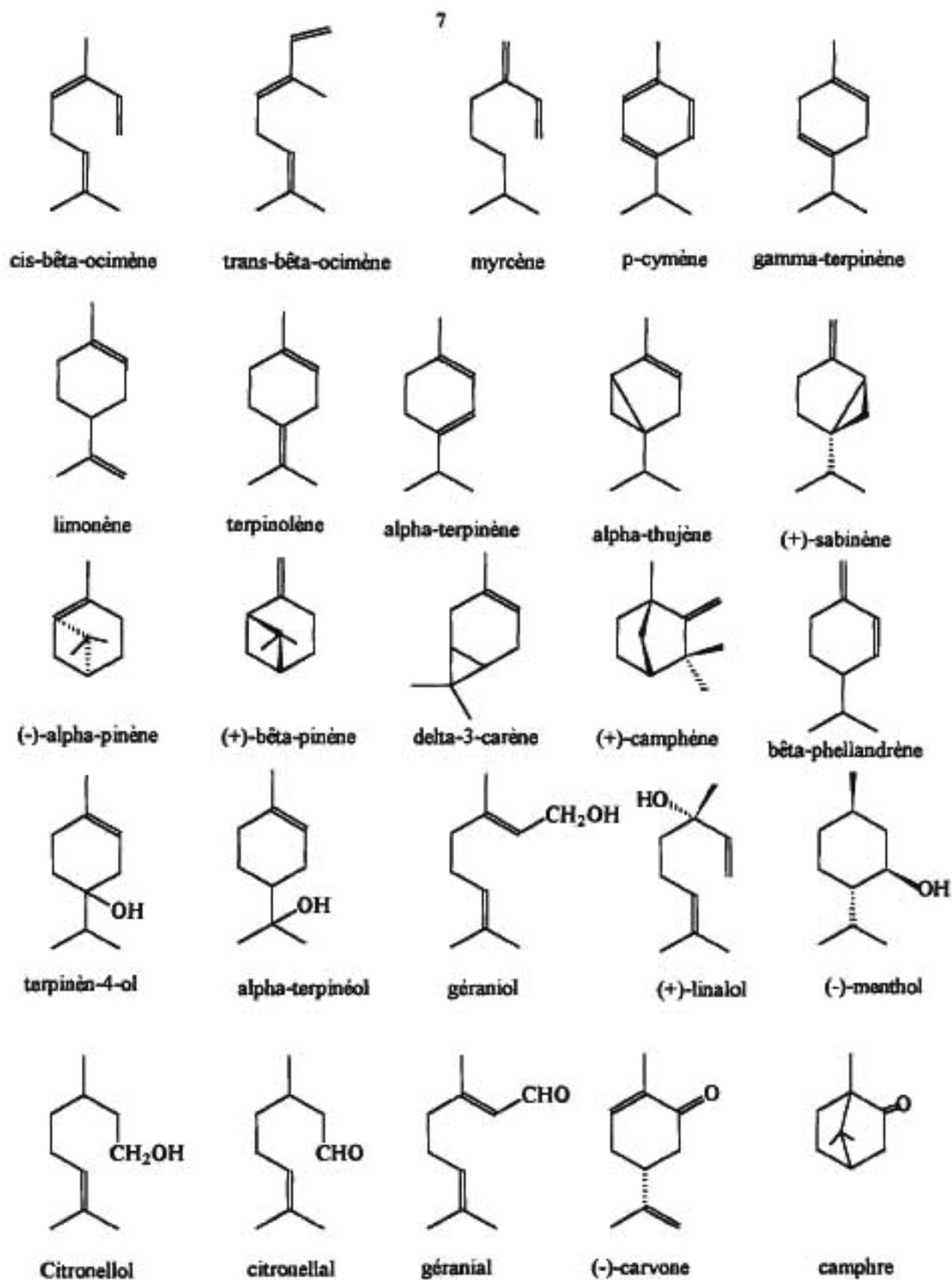


Fig. 2 : Exemple de structures de monoterpènes rencontrés dans les huiles essentielles ^[1]

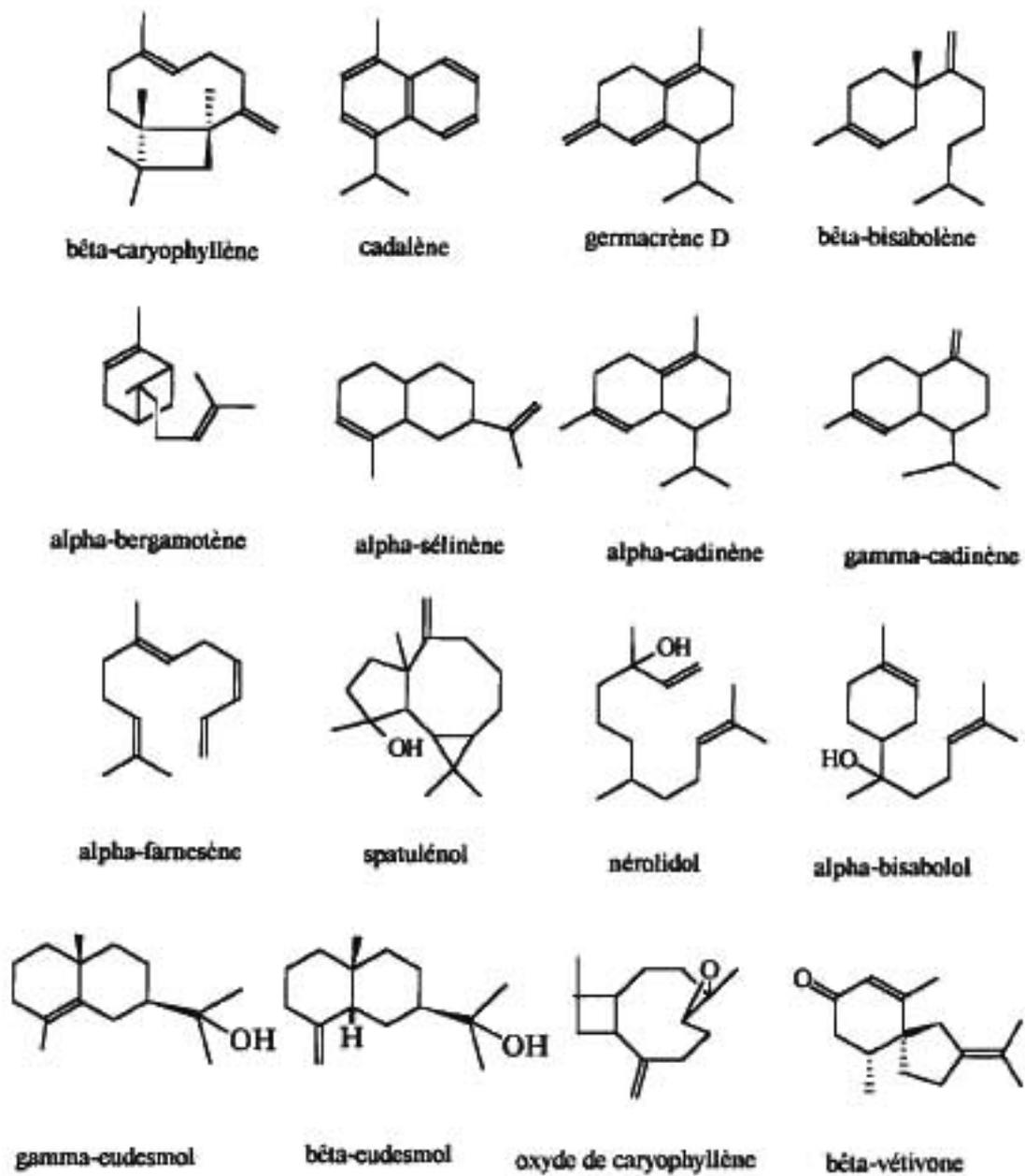


Fig. 3 : Exemple de structures de sesquiterpènes rencontrés dans les huiles essentielles ^[1]

3. BIOSYNTHÈSE DES HUILES ESSENTIELLES

Les principaux constituants des huiles essentielles sont des terpènes, constitués eux-mêmes par des motifs isopréniques^[1,2]. Cependant, l'isoprène n'est pas en réalité l'unité à partir de laquelle se fait la biosynthèse de ces produits au sein de la plante^[1,17]. Plusieurs hypothèses ont été émises quant à la localisation des huiles essentielles dans la plante et au mécanisme de leur biosynthèse. Selon PARIS et al.^[6], CROTEAU^[17] et FAHN^[18], celle-ci a lieu à l'intérieur de centres bien déterminés au sein de la plante. On retrouve ainsi les huiles essentielles dans des cellules non différenciées (Lauraceae), mais le plus souvent elles sont synthétisées dans des organes sécréteurs (poils des Lamiaceae), des glandes (Rutaceae et Rosaceae) ou des canaux conifères (conifères). La figure 4 représente le schéma simplifié des poils sécréteurs de Lamiaceae^[19].

Processus, par lequel sont élaborées les structures chimiques des molécules qui constituent la matière vivante, la biosynthèse se fait, selon BRUNETON^[1], MOORE^[2] et BONNER^[20] par l'intermédiaire de transformations biochimiques qui obéissent aux mécanismes classiques de la chimie organique physique. Elle est catalysée par des enzymes qui font partie du patrimoine de la plante et comporte trois étapes : une condensation, une cyclisation et des transformations secondaires.

3.1. *La condensation*

Selon BRUNETON^[1], les précurseurs des constituants des huiles essentielles, sont des esters phosphoriques d'alcools en $(C_5)_n$. L'étape initiale du processus de leur biosynthèse implique la condensation de deux molécules d'acétyl-coenzyme A ($CH_3COSCoA$), pour donner un ester β -cétonique (figure 5). Une troisième molécule d'acétyl-coenzyme vient ensuite s'y additionner (condensation aldolique) pour former une chaîne branchée ; cette réaction est catalysée par une enzyme, l'hydroxyméthylglutaryl-coenzyme A synthase. La réduction d'un groupe carboxylique, catalysée par une autre enzyme l'hydroxyméthylglutaryl-coenzyme A réductase, donne un intermédiaire important : l'acide 3R-mévalonique. Une double phosphorylation transforme l'acide mévalonique en mévalonate kinase, (MVK) (figure 5, étape a) et en phosphomévalonate kinase (figure 5, étape b). Une nouvelle phosphorylation (figure 5, étape c) introduit le groupe pyrophosphate (bon groupe partant). La décarboxylation catalysée par une enzyme décarboxylase et la perte d'un groupe hydroxyle (sous forme de pyrophosphate), conduit à l'unité isoprénique biogénétique réelle, le pyrophosphate d'isopentényle (PPI). Après isomérisation de la double liaison, le pyrophosphate allylique formé (pyrophosphate de diméthylallyle, PPDMA) constitue un bon groupe partant, pour un déplacement

par une autre molécule de pyrophosphate d'isopentényle (PPI) et le produit obtenu est le pyrophosphate de géranyle (PPG), précurseur de tous les monoterpènes acycliques et cycliques "réguliers". L'addition du PPG et du PPI conduit au pyrophosphate de farnésyle (PPF), précurseur de tous les sesquiterpènes acycliques et cycliques (figure 5). Les monoterpènes "irréguliers" se rencontrent surtout dans les huiles essentielles de certaines Asteraceae. D'après BRUNETON ^[1], ils sont issus du pyrophosphate de chrysanthémyle (PPC), lui-même provenant du couplage de deux molécules de PPDMA (figure 5).

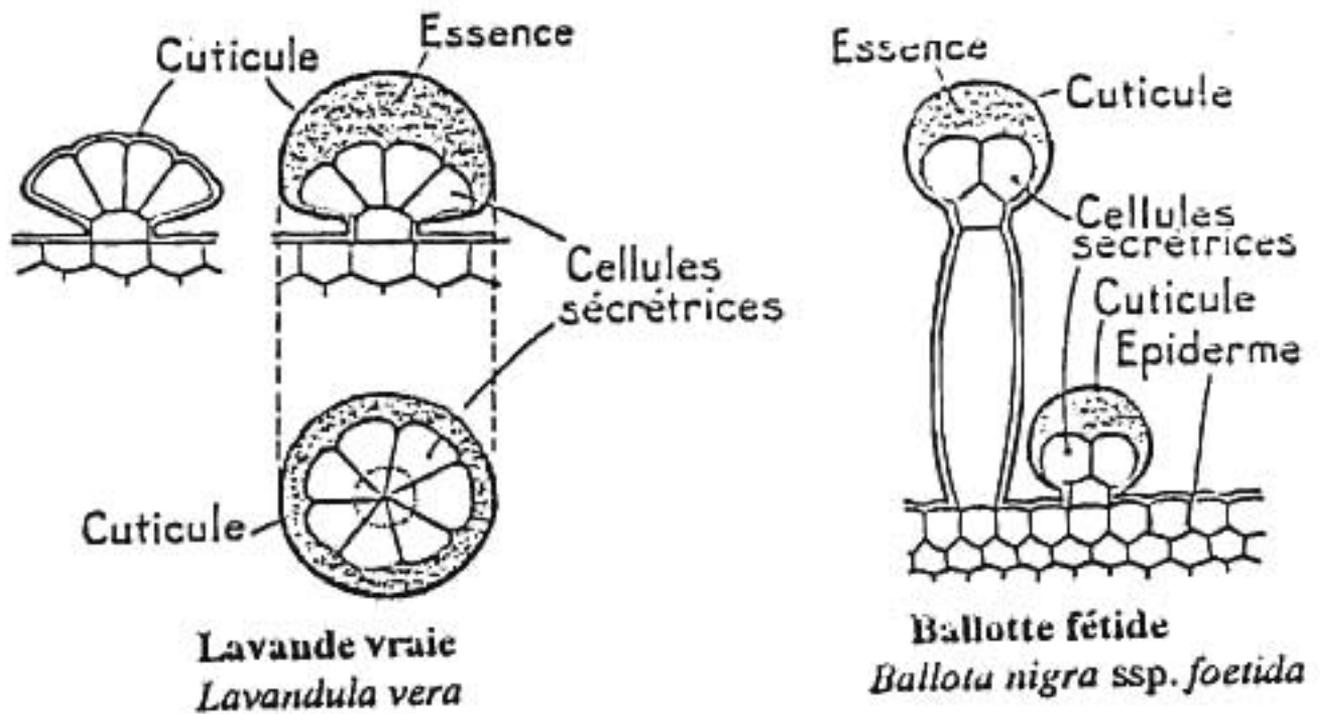


Fig. 4 : Schéma simplifié des poils sécréteurs de Lamiaceae ^[19]

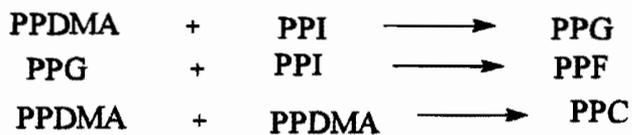
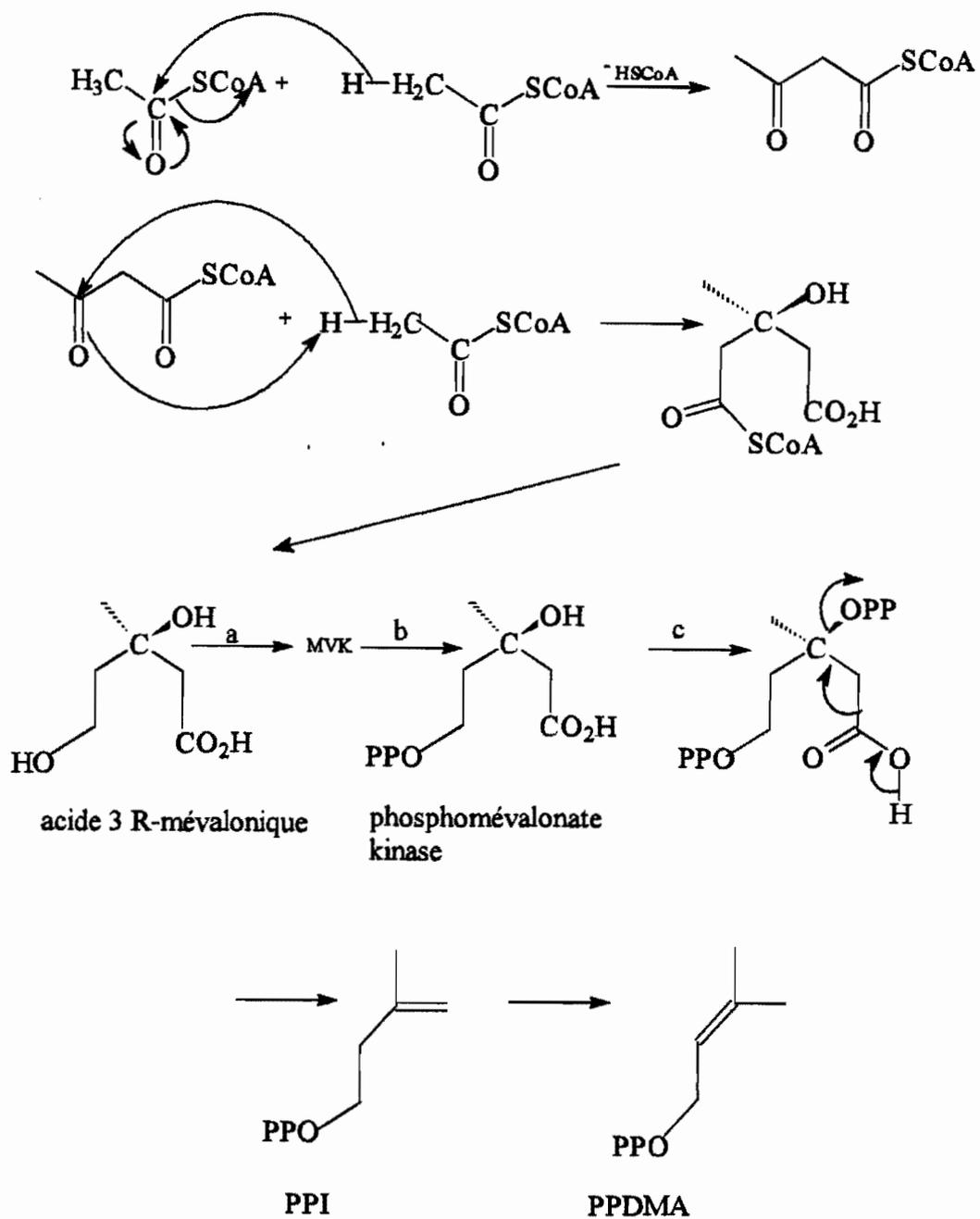


Fig. 5 : Premières étapes de la biosynthèse des terpènes ^[1, 2]

3.2. La cyclisation

Les réactions de cyclisation des monoterpènes, qui conduisent à la formation des principaux squelettes cycliques (p-menthane, thujane, carane, pinane, camphane, isocamphane, bornane, etc.), résulteraient d'un processus mettant en jeu au départ, le cation α -terpinyle. L'ion terpinyle est obtenu à partir du cation "néryle", lui-même provenant de l'ionisation du PPG, dans le milieu cellulaire aqueux^{11, 71} (figure 6).

Dans le cas des sesquiterpènes, les réactions de cyclisation se font à partir des cations farnésyles. Mais à ce niveau, d'autres réactions de cyclisation intramoléculaires sont possibles, de sorte qu'il y a possibilité de formation d'un grand nombre de composés (figure 7). La figure 8 montre la formation du β -caryophyllène, de l'humulène et du pentalène, à partir du trans, trans-farnésyle. Comme on le voit sur les figures 6 et 7, les produits de cyclisation sont des hydrocarbures dont l'étape finale de formation est l'élimination d'un proton et la formation d'une double liaison.

Dans des cas simples, les détails du chemin réactionnel de la synthèse des terpènes et ses différentes étapes, ont été déterminés en alimentant les plantes avec des précurseurs, marqués d'isotopes (figure 8) et par des méthodes stéréochimiques^{11, 71}. Par exemple, dans le cas de la synthèse des squelettes du camphre et du fenchane à partir du PPG, des méthodes stéréochimiques ont montré que la cyclisation se fait à partir du pyrophosphate de linalyle (PPL), qui donne un bon recouvrement des orbitales π des doubles liaisons (figure 9).

Dans d'autres cas, les voies de biosynthèse ont été établies en suivant l'évolution de la concentration des composés au cours du développement de la plante. Donnons en exemple, la biosynthèse des menthols et de la carvone à partir du limonène, respectivement dans *Mentha piperita* et dans *Mentha spicata*^{11, 71} (figure 10). La figure 11 représente les différentes voies biosynthétiques, qui conduisent à la formation de monoterpènes cycliques dans les huiles essentielles d'*Eucalyptus*¹⁷¹.

Les réactions de cyclisation sont catalysées par des enzymes appelées "cyclases". Des voies de biosynthèse différentes ont été mises en évidence pour un même produit, dans différentes espèces. Cela laisse supposer que ce n'est pas la même cyclase qui conduit à la formation d'un même produit dans ces espèces végétales. La figure 12 représente la biosynthèse du 1,8-cinéole dans différentes familles de plantes.

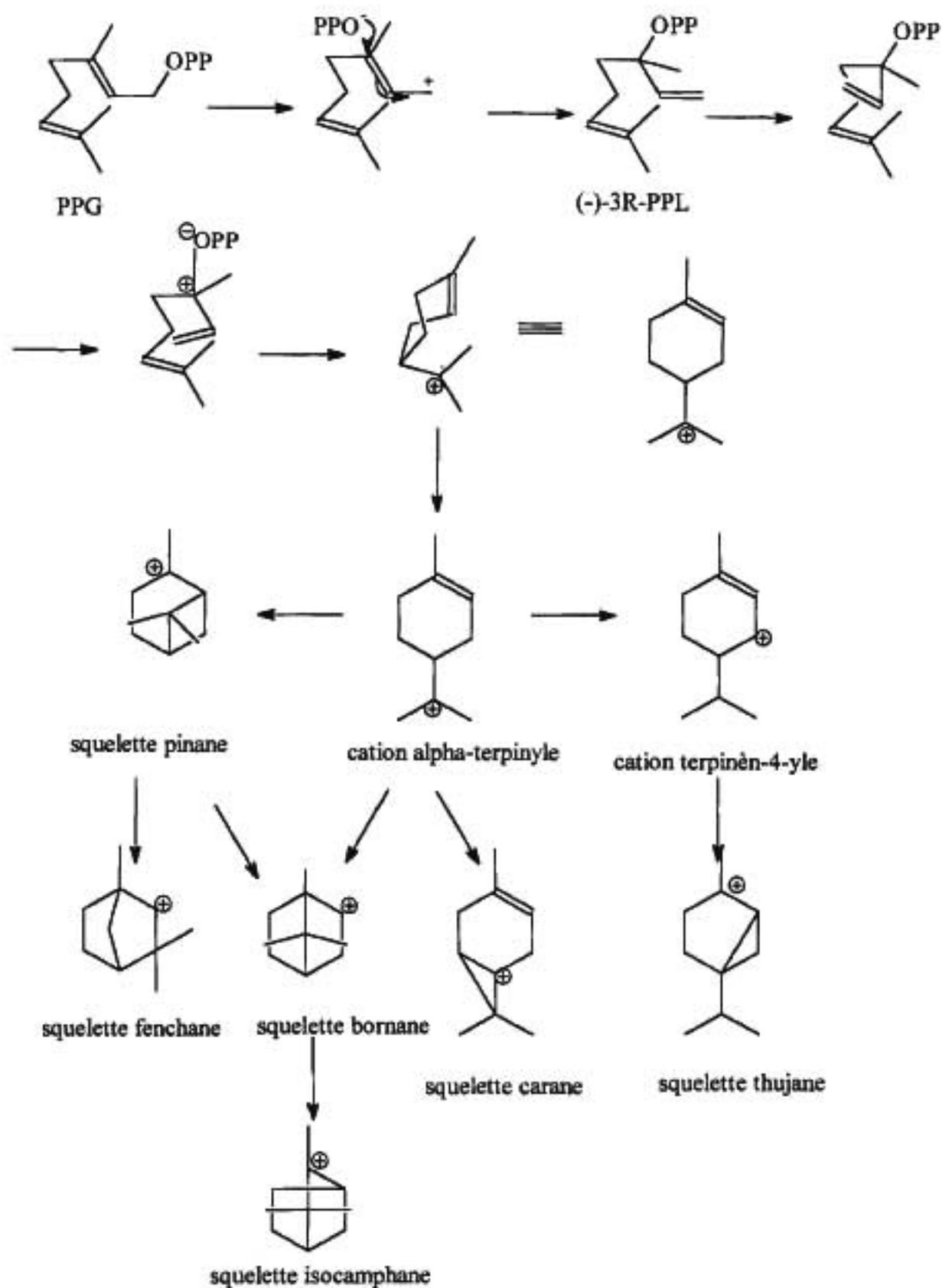


Fig. 6 : Rôle des cations alpha-terpinyle et terpinèn-4-yle dans la biosynthèse des monoterpènes cycliques^{11, 71}

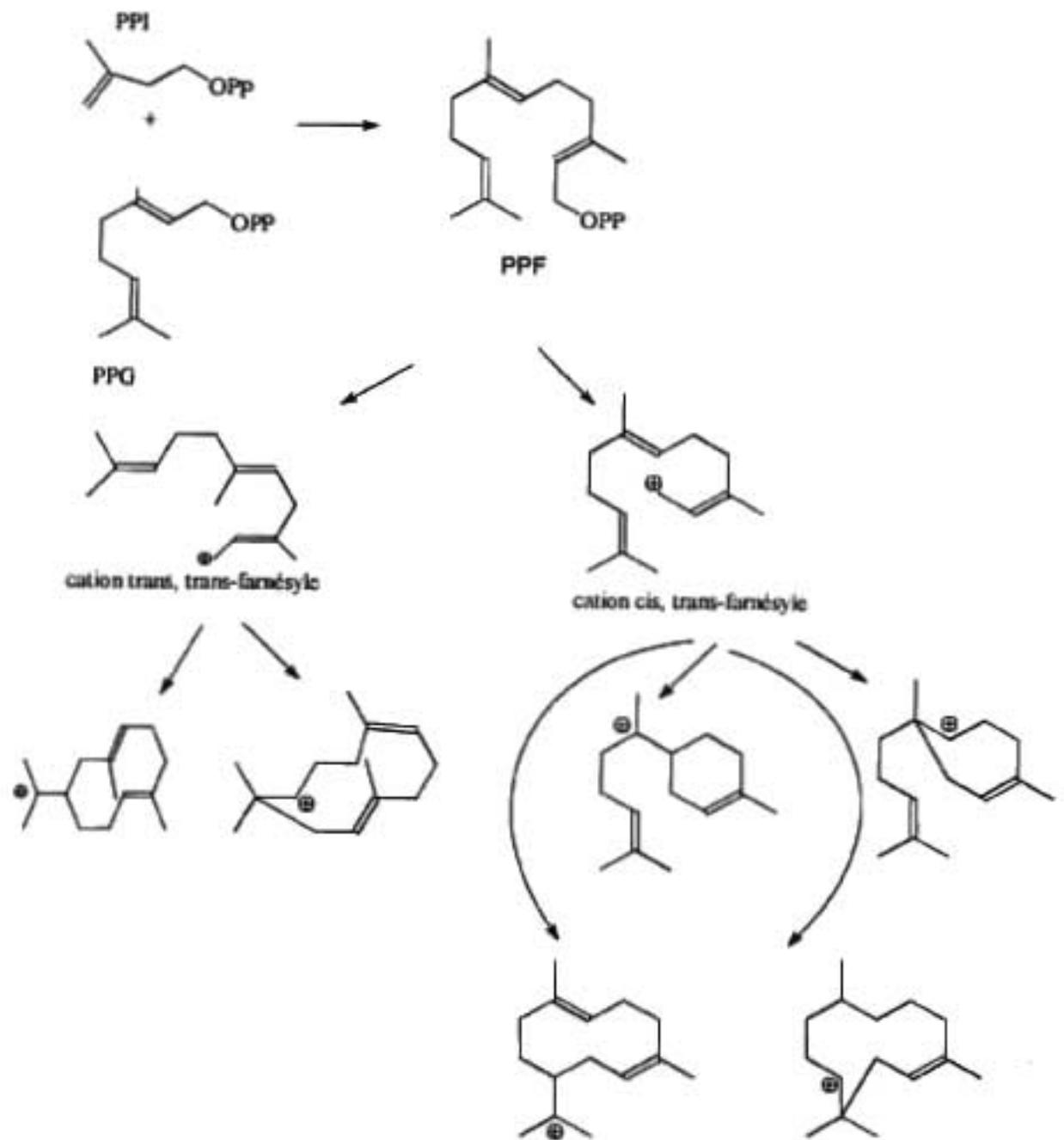


Fig. 7 : Formation des sesquiterpènes cycliques à partir des cations farnésyles ^{11, 71}

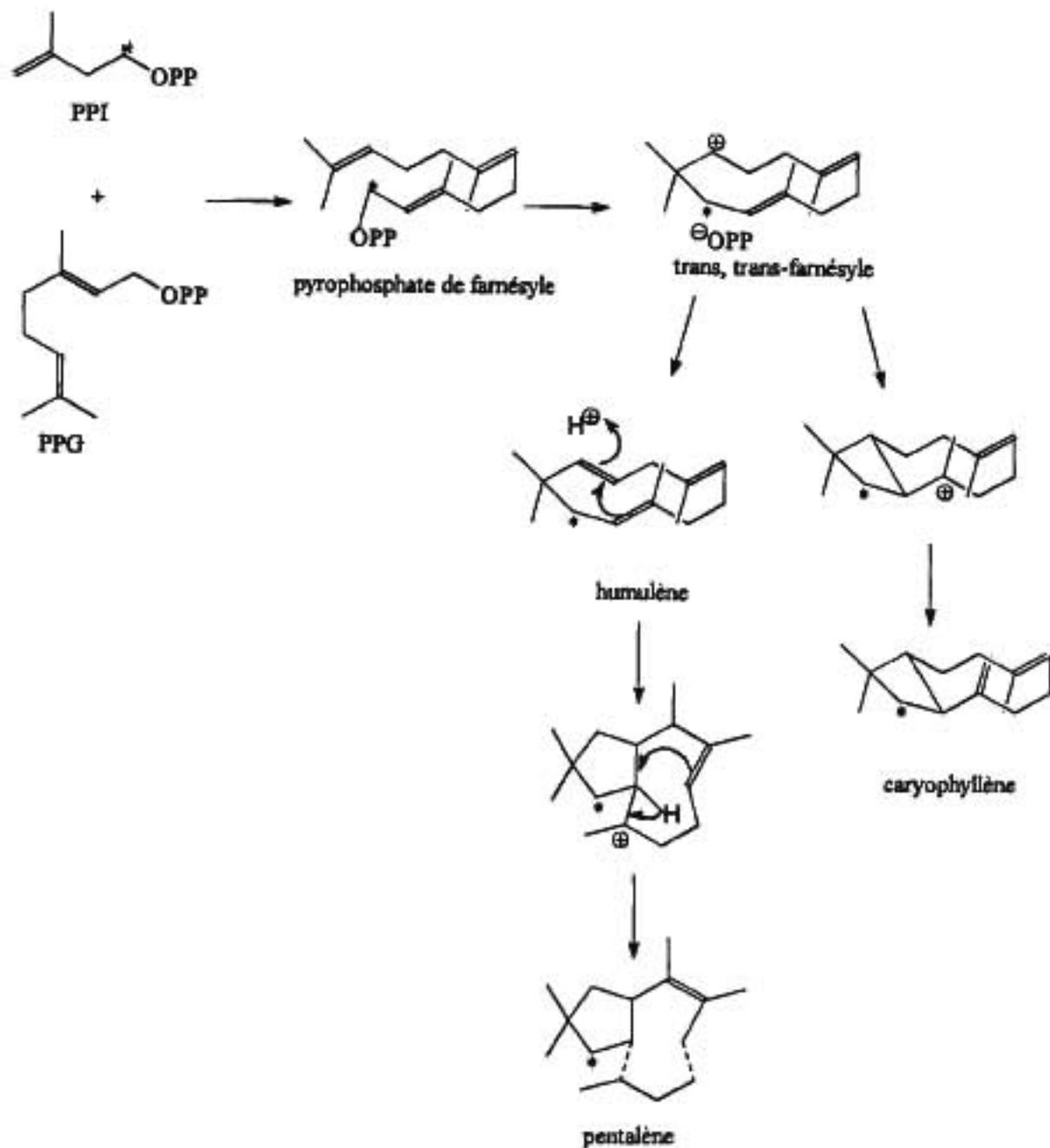


Fig. 8 : Cyclisation du pyrophosphate de farnésyle en (-)-caryophyllène et en humulène et conversion de l'humulène en pentalène ^[1, 7]

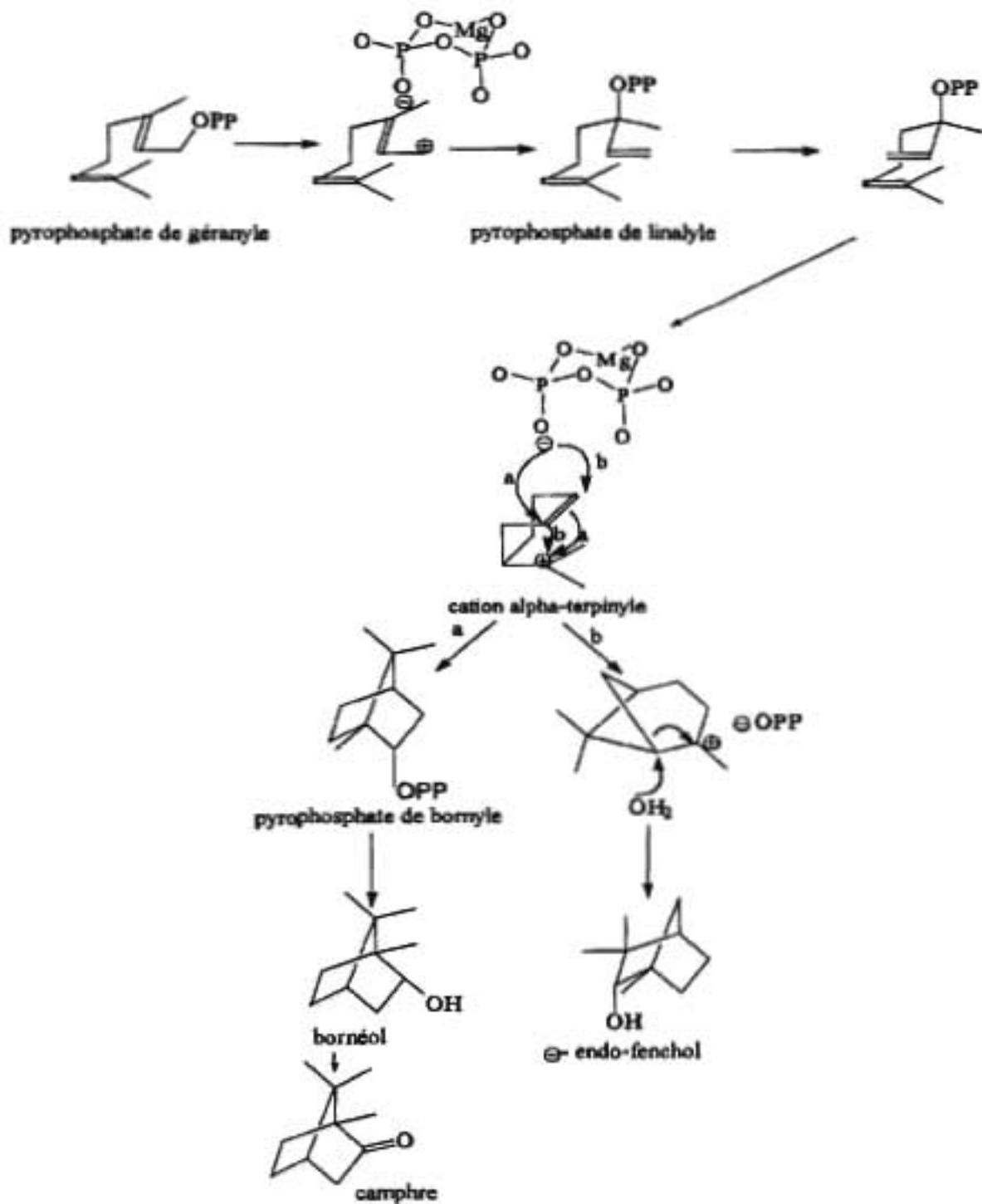


Fig. 9 : Biosynthèse du camphre et de l'endo-fenchol à partir du pyrophosphate de géranyle ^[4, 7]

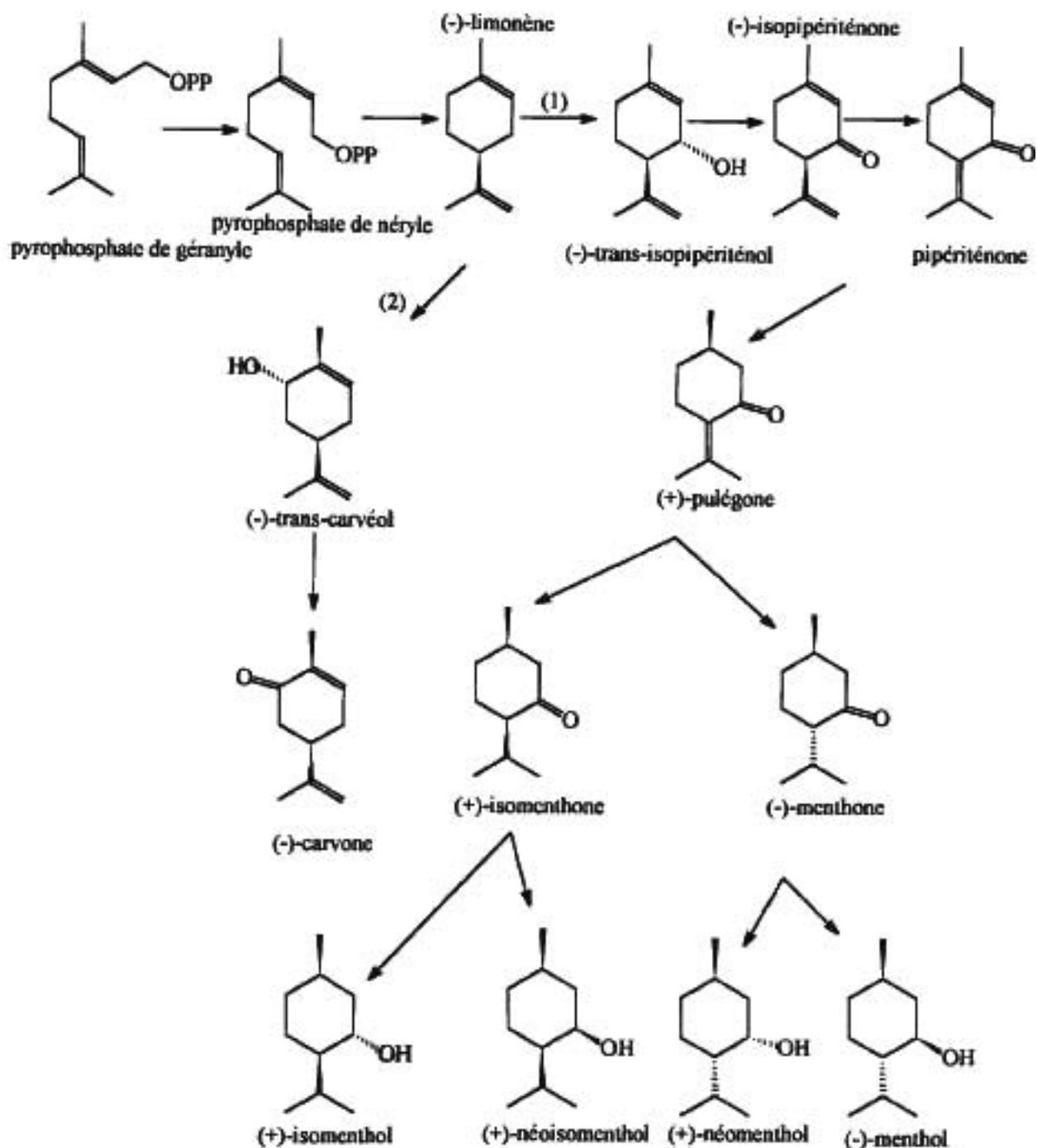


Fig. 10 : Biosynthèse des menthols et de la carvone à partir du limonène dans *Mentha piperita* (1) et dans *Mentha spicata* (2) [1, 7]

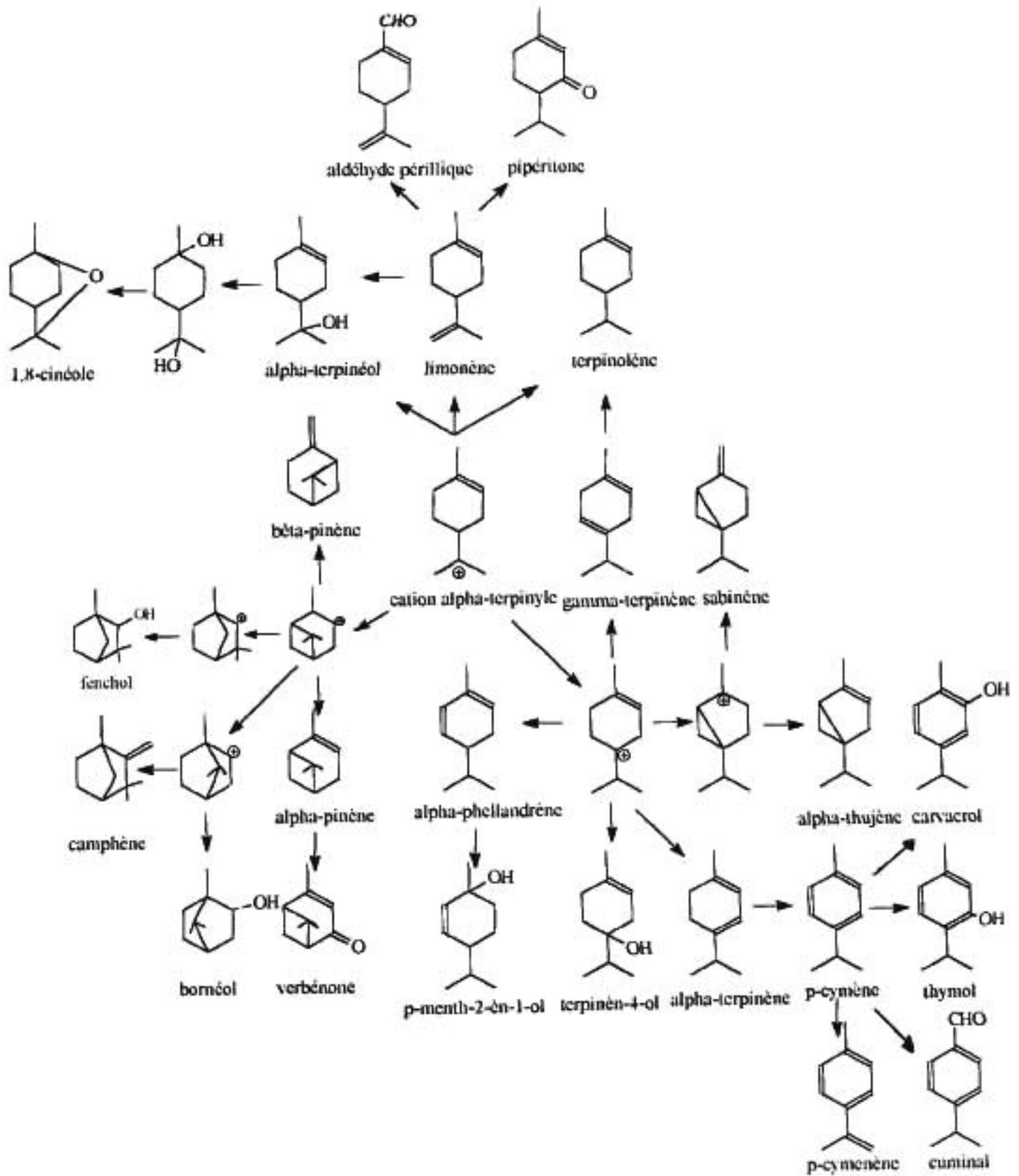


Fig. 11 : Voies de biosynthèse de quelques monoterpènes cycliques [7]

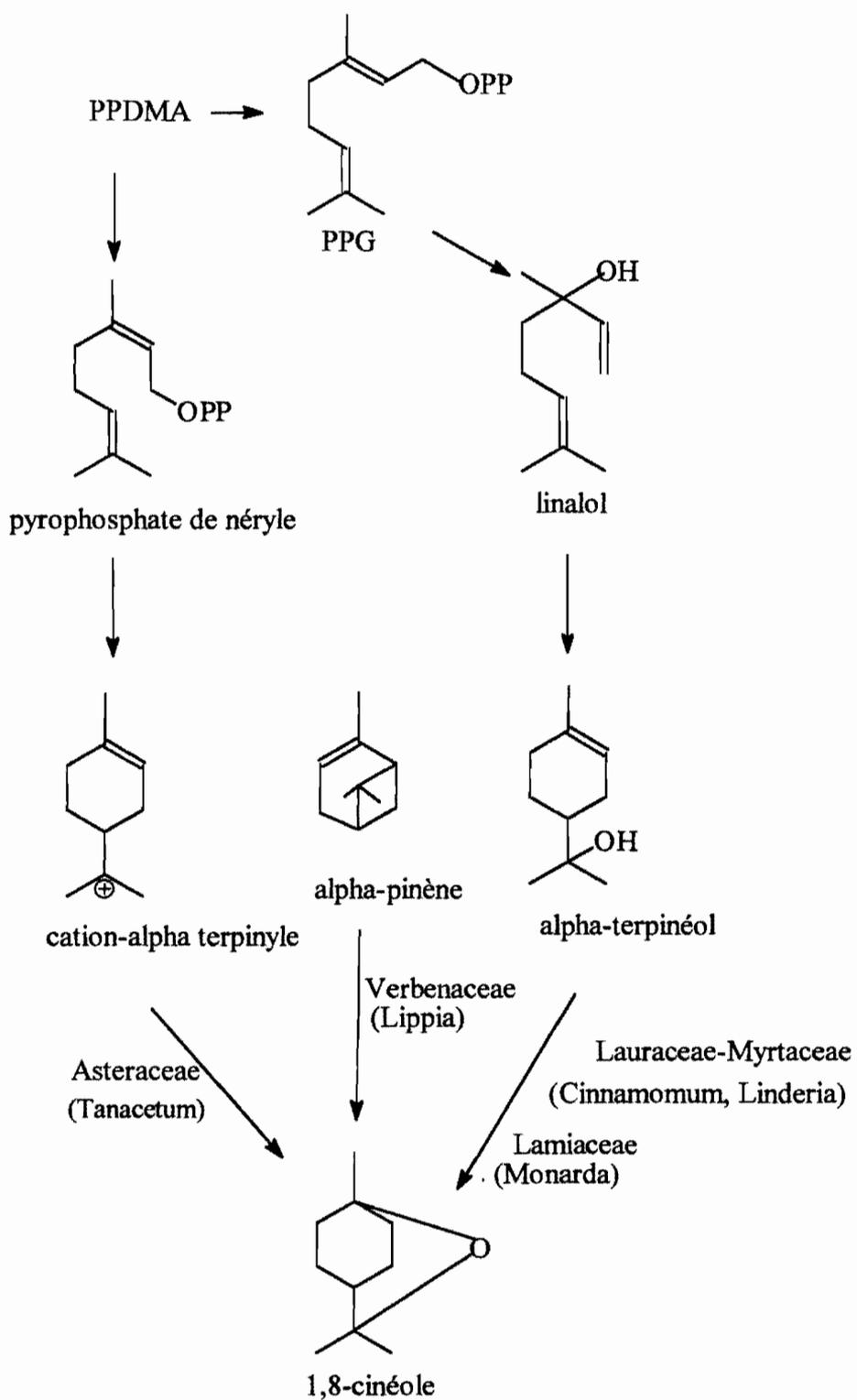


Fig. 12 : Voies de biosynthèse du 1,8-cinéole dans différentes familles végétales [20]

Parfois, au sein d'une même plante, différentes voies conduisant à la biosynthèse de différentes classes de composés, ont été découvertes. C'est le cas, dans *Ocimum basilicum*, où selon LAWRENCE⁽¹¹⁾, la voie de l'acide shikimique via le phénylalanine conduit aux composés aromatiques alors que les monoterpènes sont principalement biosynthétisés par la voie de l'acide mévalonique via le pyrophosphate de géranyle (figure 13).

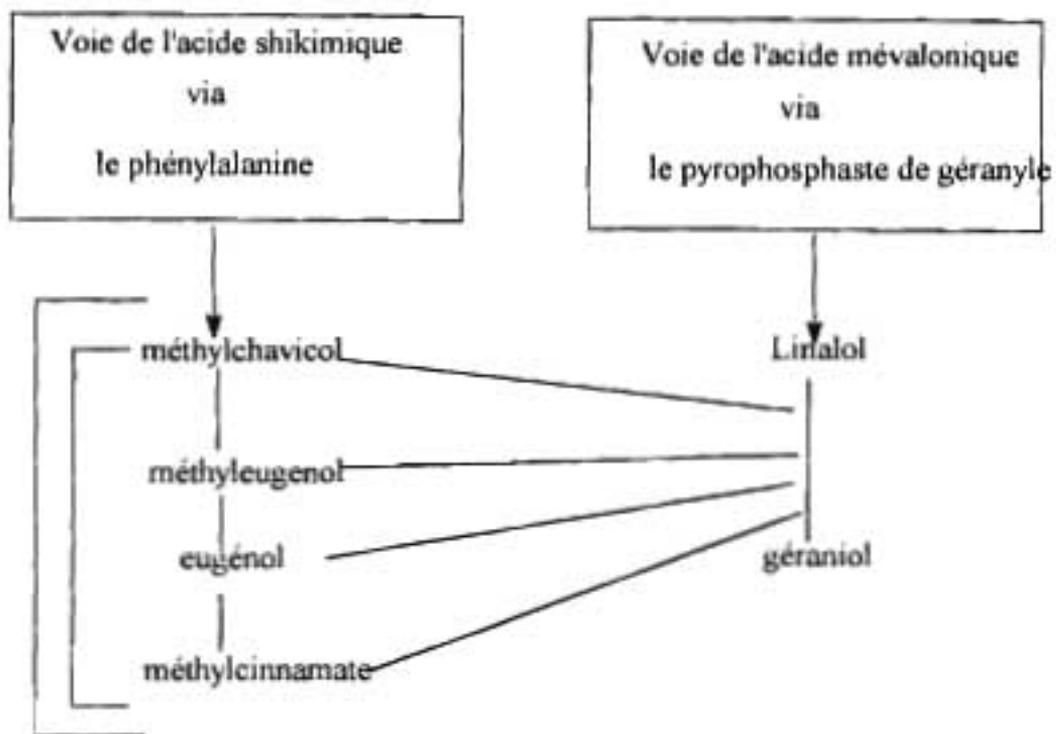


Fig. 13 : Dualité des voies biosynthétiques dans *Ocimum basilicum*⁽¹¹⁾

3.3. Les transformations secondaires

Les réactions de cyclisation se terminent soit par la perte d'un proton avec la formation d'un hydrocarbure, soit par l'addition d'eau avec la formation d'un alcool^(11, 7).

Les réactions secondaires de fonctionnalisation interviennent après la cyclisation. Elles débutent généralement par une hydroxylation en α d'une double liaison et se terminent par des réactions d'oxydation, d'aromatisation, de réduction, etc., catalysées par des enzymes spécifiques dénommées: oxydase, déhydrogénase, réductase, etc.

4. RÔLE D'UNE HUILE ESSENTIELLE DANS LA PLANTE

La fonction biologique des huiles essentielles dans la plante est très mal connue et fait encore l'objet d'une controverse ^[1, 17]. En tant que produits du métabolisme secondaire de la plante, les huiles essentielles, tout comme les di, tri et tétraterpènes sont considérés, comme des substances n'ayant aucun rôle dans les aspects fondamentaux du développement de la plante. Par contre, le rôle de certains mono et sesquiterpènes a été expérimentalement établi aussi bien dans le domaine des interactions végétal-végétal, que dans celui des interactions végétal-animal ^[1].

Dans le domaine des interactions végétal-végétal par exemple, les propriétés fongicides et herbicides des monoterpènes ont été rapportées par EVENARI ^[21] et FISCHER ^[22] et celles des hydrocarbures sesquiterpéniques par SPENCER et al. ^[23].

Dans le domaine des interactions végétal-animal, les travaux de STIPANOVIC et al. ^[24] ont montré que les terpénoïdes jouent un rôle dans la résistance des plantes aux insectes. On leur attribue aussi des propriétés antiappétantes, bien que certains soient des attractifs. Parmi les monoterpènes, les propriétés insecticides et antimicrobiennes de l' α -pinène sont bien connues ^[25].

La volatilité des huiles essentielles assure leur transport et leur activité à faible concentration ^[7, 26a, 26b], ceci d'autant mieux que la diversité structurale de leurs constituants autorise l'influence sélective d'un organisme à plus ou moins grande distance de la source et élimine toute forme de résistance ^[7].

Une mise au point récente de CROTEAU ^[17], attribue aux huiles essentielles un rôle de mobilisateur d'énergie lumineuse et de régulateur, au profit de la plante.

Les interactions écologiques sus-mentionnées sont gérées, soit par des terpènes individuels ou par un mélange simple de terpènes, soit par une classe de constituants. C'est ainsi que, par l'intermédiaire de leurs constituants riches en doubles liaisons conjuguées, les huiles essentielles absorbent de la lumière et de la chaleur au cours de leur évaporation, régulant ainsi la transpiration de la plante, en limitant la quantité de chaleur qui atteint les tissus végétaux ^[7].

5. DOMAINE D'UTILISATION DES HUILES ESSENTIELLES

Le champ d'application des huiles essentielles est vaste, mais quatre principaux secteurs de leur utilisation à une échelle industrielle peuvent être retenus ^[1, 7] :

- le secteur de l'industrie alimentaire ;
- le secteur de l'industrie des parfums et cosmétiques ;
- le secteur de l'industrie pharmaceutique ;

- et le secteur de l'industrie chimique.

Dans l'alimentation, les huiles essentielles sont utilisées comme aromates ou épices. C'est le cas des essences de girofle, de gingembre, de vanille, de basilic, etc. Les huiles essentielles de différentes espèces du genre *Citrus* sont utilisées dans la confiserie, les sirops et les biscuiteries.

L'industrie de la parfumerie et de la cosmétologie est le principal débouché des huiles essentielles totales ou de certains de leurs constituants purs. C'est le cas des essences de rose, d'ylang-ylang, de lavande, de vétiver, de jasmin, de patchouli, etc., qui entrent dans la composition des parfums rares ^[7].

La médecine et l'industrie pharmaceutique utilisent les huiles essentielles en raison de leurs diverses propriétés : bactériostatiques, bactéricides, vermifuges, fongicides, antiseptiques, insecticides ^[1, 7], etc. .

L'industrie chimique extrait de certaines huiles essentielles des matières premières (isolats) qu'elle transforme en produits chimiques plus élaborés ou directement utilisables pour la synthèse de principes médicamenteux, de vitamines, de substances odorantes etc. C'est le cas par exemple de l'essence de pin, riche en α -pinène, qui, en plus de son utilisation comme solvant, entre dans la synthèse du camphre (agent plastifiant) ^[7].

6. MÉTHODE D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES

6.1. Méthode d'extraction

Plusieurs procédés sont utilisés pour extraire les huiles essentielles des plantes aromatiques. Chaque procédé possède plusieurs variantes technologiques en fonction du matériel végétal à traiter ^[1, 27, 28].

Pour certaines essences, comme celles des fruits du genre *Citrus*, on procède par expression à froid du zeste frais, soit à la main (procédé à la cuillère), soit par scarifications mécaniques.

L'extraction directe des plantes par les solvants volatils (hydrocarbures, alcools), suivie d'une distillation, est très utilisée en parfumerie où l'on prépare des "concrètes" et des essences dites "absolues" (solubles dans l'alcool à froid).

Il existe des cas où l'on pratique l'enfleurage, c'est à dire l'extraction à l'aide d'un corps gras, qui se sature d'essence. Le corps gras est épuisé par l'alcool absolu, le solvant est ensuite évaporé sous vide.

En général, les huiles essentielles sont extraites du matériel végétal, soit par hydrodistillation simple (entraînement à la vapeur d'eau), qui est la méthode la plus utilisée, soit par distillation à la vapeur saturée, soit par hydrodiffusion.

De nos jours, il existe d'autres méthodes d'extraction plus rapides, applicables à l'échelle industrielle, qui donnent bien souvent des huiles essentielles de très bonne qualité. C'est notamment le cas des extractions par micro-ondes et par fluide supercritique (principalement par CO₂ supercritique). En effet, les substances volatiles des plantes aromatiques sont très solubles dans le gaz carbonique supercritique, à température et à pression modérées et peuvent être extraites de façon sélective ^[29, 30].

Les résultats de l'analyse des huiles essentielles montrent le plus souvent que les essences extraites d'une même plante, par deux méthodes différentes, n'ont pas la même composition chimique ; cette dernière varie donc en fonction du procédé d'extraction. Par exemple il a été démontré que les huiles essentielles obtenues par extraction à l'aide de gaz carbonique supercritique, ont une teneur plus élevée en hydrocarbures oxygénés que celles obtenues par hydrodistillation ^[31]. Il existe également de nombreux travaux sur l'étude comparative des huiles essentielles obtenues par l'extraction au soxhlet, l'extraction suivie de distillation et l'extraction par fluide supercritique ^[32, 33].

6.2. Méthodes d'analyse des huiles essentielles

Il faut distinguer les méthodes analytiques anciennes de détermination des indices d'iode, d'acide, d'ester, de peroxyde, de carbonyle, de saponification, etc., proposées dans le recueil de normes, publiées par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) ^[34] et les normes internationales de l'International Standard Organisation (ISO) ^[35]. Ce sont des méthodes d'analyse globale, qui renseignent sur la composition chimique de l'huile essentielle.

A ces méthodes chimiques d'analyse, il faut ajouter les informations apportées par les mesures physiques d'indice de réfraction, de densité et de pouvoir rotatoire. Ces caractéristiques physico-chimiques constituent des références utiles, des points de comparaison qui servent de critère de qualité dans les transactions sur le marché.

Les méthodes modernes d'analyse permettent de trouver la composition centésimale d'une huile essentielle. Cependant une huile essentielle peut contenir plus d'une centaine de constituants dont les concentrations individuelles peuvent être supérieures au seuil de détection de l'appareil utilisé. Il n'est donc pas possible d'identifier tous les constituants.

La chromatographie en phase gazeuse sur des colonnes capillaires, utilisant un détecteur à ionisation de flamme, est devenue la norme minimale de l'appareillage analytique ^[36-38]. Dans ce cas, la séparation s'effectue suivant les temps de rétention des constituants et on arrive à identifier entre 50 à 70 % des pics observés, correspondant à 90-95 % en masse de l'échantillon ^[36]. Cette méthode analytique offre également la possibilité de doser un constituant donné dans l'huile essentielle. L'inconvénient

majeur de cette technique provient du fait que certaines valeurs des temps de rétention sont proches et prêtent à confusion dans l'interprétation des résultats. C'est pour cela qu'on procède toujours au calcul des indices de KOVATS ^[39], après analyse de l'huile essentielle sur deux colonnes de polarités différentes (l'une est apolaire et l'autre polaire). La détermination de ces indices est basée sur la rétention spécifique et le nombre d'atomes de carbone des composés d'une série de paraffines homologues ^[36]. La chromatographie en phase gazeuse peut également être couplée à la spectrométrie de masse et apporter des informations qualitatives et quantitatives ^[36].

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse en espace de tête (analyse de la phase gazeuse en équilibre avec l'échantillon) est aussi une méthode adaptée à l'étude des principes volatils des plantes aromatiques. Son principe est basé sur le fait que les substances volatiles peuvent être piégées à basse température ou par adsorption sur un polymère hydrophobe. Libérées par chauffage ou par désorption, elles sont volatilisées et étudiées par chromatographie en phase gazeuse. Cette méthode donne une huile essentielle dont la composition chimique est très proche de celle du mélange initialement présent dans la plante et permet d'apprécier les dégradations intervenues au cours de l'hydrodistillation ^[1].

L'identification des constituants d'une huile essentielle peut également être faite selon la méthode de CASANOVA et CORTICHIATO ^[40]. Cette méthode consiste à enregistrer le spectre de carbone 13 de l'huile essentielle et à repérer les pics correspondants à un composé donné, puis à l'identifier, par comparaison de son spectre de carbone 13 avec les composés de référence d'une banque de données.

Pour l'étude fine d'une huile essentielle, il est utile de procéder d'abord à un pré-fractionnement, soit par des procédés chimiques ou physiques (distillation ou méthodes chromatographiques) ^[1].

En effet, il est possible de réaliser des transformations chimiques sélectives, destinées à éliminer, partiellement ou totalement un constituant ou groupe de constituants. C'est le cas par exemple, des composés carbonylés extraits par la méthode de la combinaison bisulfite ou des composés insaturés isolés sous forme de composés d'addition ^[1].

Dans le but d'isoler un produit pur ou d'éliminer certains produits malodorants ou irritants de l'huile essentielle, on utilise des procédés physiques tels que la distillation. On obtient des fractions de profil déterminé et l'on parle alors dans ce cas, comme dans celui de la méthode chimique d'une huile essentielle "déterpénée", désesquiterpénée", "rectifiée".

De tels exemples sont donnés dans la littérature : citons celui de l'isolement du (-)-citronello ^[13] par distillation fractionnée. Ces procédés (chimique et physique) sont utilisés dans le but de valoriser une huile essentielle, en la débarrassant de ses constituants malodorants par exemple ou pour faciliter son analyse par la chromatographie en phase gazeuse.

Les méthodes chromatographiques (chromatographies préparative, sur couche mince, sur

colonne et d'exclusion sur gel) sont également utilisées, dans le but soit d'isoler un composant pur de l'huile essentielle, soit pour fractionner les constituants de celle-ci, par groupe : hydrocarbures, dérivés oxygénés, etc. À cet effet, on emploie des systèmes d'éluants peu polaires ^[1, 6].

Selon LAWRENCE ^[41], les hydrocarbures saturés sont mieux résolus sur des plaques préparatives imprégnées avec une solution de AgNO₃, que par chromatographie en phase gazeuse. Le sabinène et le β-pinène ont été fractionnés de cette façon, en utilisant une solution de AgNO₃ 6,25 %. Les isomères cis/trans d'alcools monoterpéniques (nérol et géraniol) ont également été fractionnés d'une façon similaire, en utilisant une solution de AgNO₃ 3 % ^[42].

En chromatographie sur couche mince on utilise comme révélateurs, une lampe UV ou des réactifs chimiques : vanilline sulfurique, trichlorure d'antimoine ou dinitrophénylhydrazine.

Les méthodes chromatographiques usuelles sont souvent associées à la chromatographie en phase gazeuse. Par exemple BAMBAGIOTTI et al. ^[43] d'une part et KARAWYA et al. ^[44], d'autre part, ont utilisé la combinaison chromatographie préparative et chromatographie en phase gazeuse, respectivement pour le fractionnement des constituants des huiles essentielles de *Pinus mugo* et de *Citrus aurantium* (zeste de citron).

Cependant il a été constaté l'altération ou la formation d'artéfacts au niveau de l'huile essentielle, au cours de la chromatographie, même sur des supports désactivés ^[1, 41], telle que par exemple l'isomérisation de l'α-terpinène et de l'α-phellandrène en p-cymène, l'isomérisation du sabinène en α-thujène, en α et β-terpinène, limonène, β-phellandrène et terpinolène.

COSCIA ^[45] a rapporté que cette isomérisation peut être évitée en utilisant une solution de soude 0,1 N au lieu de l'eau distillée pour la préparation des plaques. L'on a aussi eu recours à la chromatographie sur colonne sous pression d'azote ^[46] ou à la distillation sous pression réduite ^[13], procédés par lesquels les altérations sus-mentionnées peuvent être minimisées.

Pour l'identification d'un composé pur, les méthodes chromatographiques, les procédés physiques et chimiques peuvent être complétés par les méthodes spectrales : IR, UV, RMN ¹³C et H ^[1, 46, 47, 48].

De nos jours les progrès de l'instrumentation, notamment l'association de la chromatographie en phase gazeuse avec la chromatographie en phase liquide à haute performance (CPG / HPLC) ou avec la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (CPG / IRTF) permettent la séparation, la quantification et l'identification des mélanges les plus complexes ^[49].

7. LABILITÉ DES HUILES ESSENTIELLES

Les huiles essentielles font partie des substances les plus fragiles et les plus complexes extraites du monde végétal. Au cours de leur extraction et pendant leur conservation, elles peuvent subir des altérations. Une mise au point de LOBSTEIN et al. ^[50] indique les principaux facteurs, responsables des modifications du profil chimique des huiles essentielles, qui sont : la lumière, l'air, la chaleur et la présence de métaux lourds et les différents moyens de protection des essences, destinés à limiter ces altérations. En effet, ces auteurs ^[50] rapportent que sous l'effet de la lumière, les huiles essentielles absorbent les courtes longueurs d'onde du spectre solaire, ce qui provoque des réactions photochimiques : photocycloaddition, photocyclisation, photoisomérisation, photoclivage, photoxydation etc.

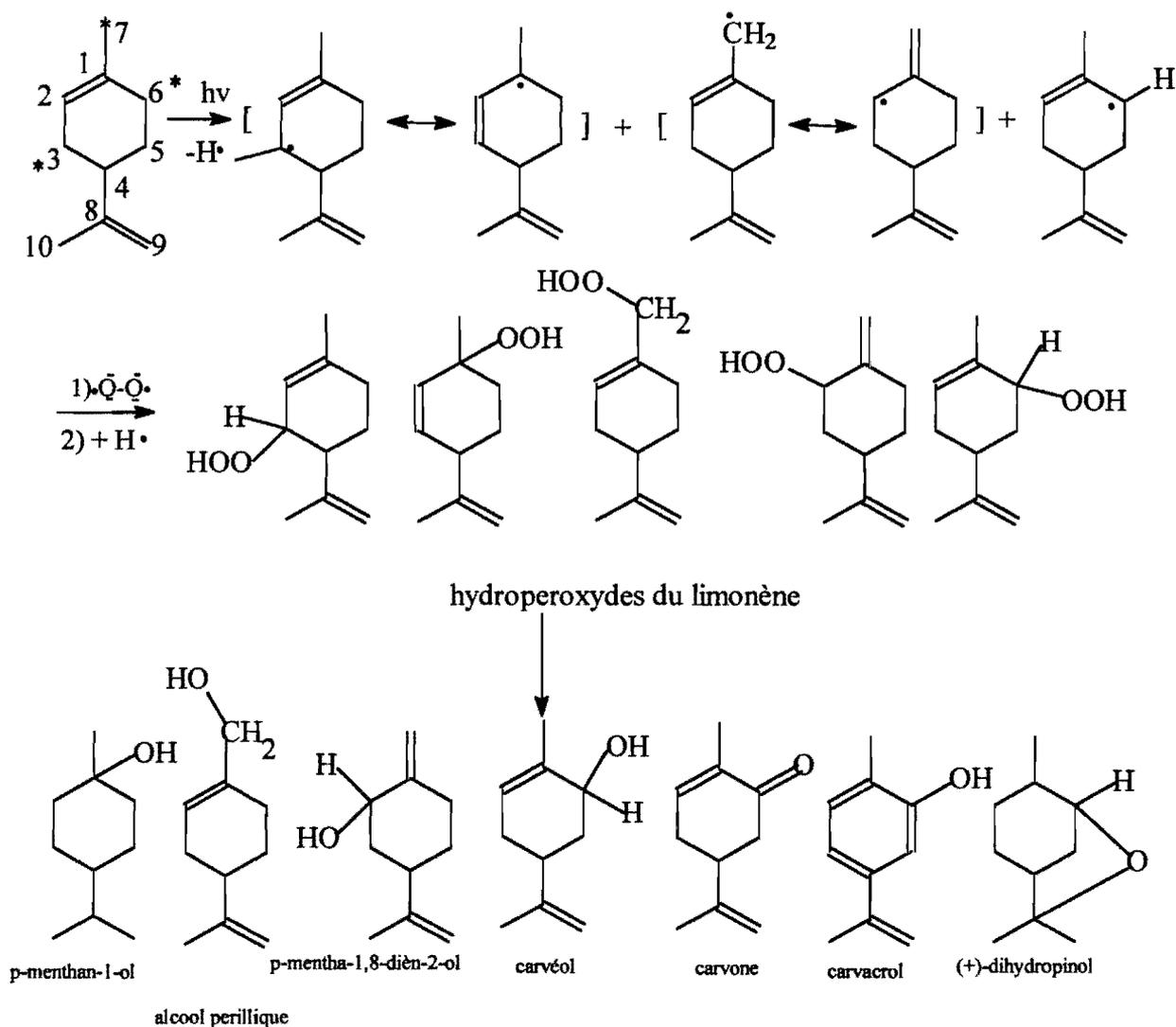
La lumière, accompagnée ou non d'une élévation de température et la présence de métaux lourds, sont des éléments "pro-oxygène", qui favorisent l'autoxydation des huiles essentielles. La figure 14 montre l'oxydation et la décomposition du limonène, respectivement en hydroperoxydes (a) et en limonène-glycol (b). Ces derniers sont eux-mêmes transformés en de nombreux produits : carvones et carvéols, sous l'effet du rayonnement ultraviolet. La figure 15 représente l'isomérisation, sous l'effet de la chaleur du géraniol, respectivement en photocitral et en isocitral. Les analyses physiques (mesure de la densité relative, de l'indice de réfraction, du pouvoir rotatoire, de la viscosité, etc.) ; ou chimiques (détermination des indices, de peroxyde et d'acide ; dosage des dérivés carbonyles et des alcools, etc.) et les méthodes chromatographiques (chromatographie sur couche mince et CPG) permettent de rendre compte des altérations intervenues ^[1].

8. MÉTHODES DE CONSERVATION DES HUILES ESSENTIELLES

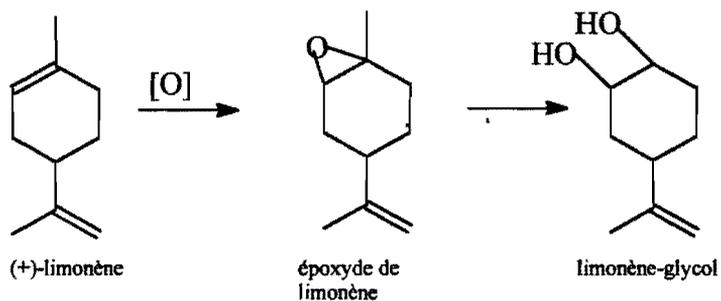
La conservation des huiles essentielles s'avère très délicate. Selon LOBSTEIN et al. ^[50] une huile essentielle ne dépasse pas une année, sans subir d'importantes modifications physico-chimiques. Une meilleure préservation de sa qualité nécessite le respect de certaines règles élémentaires de stockage : conservation sous atmosphère d'azote, utilisation de flacons de faibles volumes, emploi de flacons en verres brun, en aluminium ou en acier inoxydable, stockage à basse température.

Dans certains cas, la déterpénation partielle d'une huile essentielle permet de rallonger sa durée de vie.

L'un des moyens le plus efficace pour protéger une huile essentielle est d'y ajouter des substances capables d'interférer avec les réactions oxydantes. C'est le cas de l'acide citrique, employé pour la conservation des huiles essentielles utilisées dans l'alimentation et du sel dipotassique de

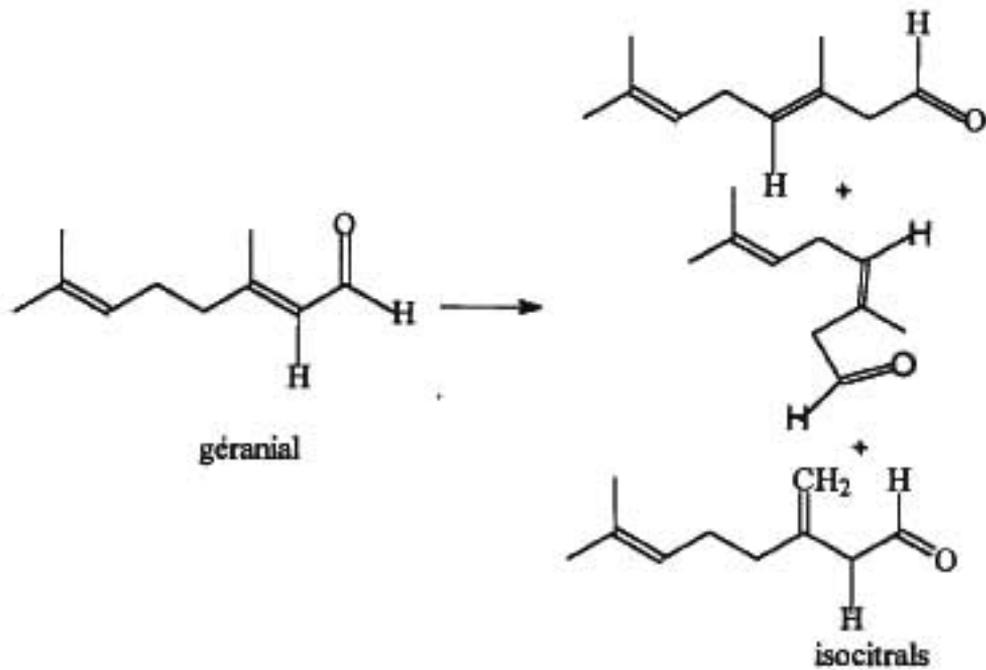


a) Réaction de décomposition du limonène en hydroperoxydes

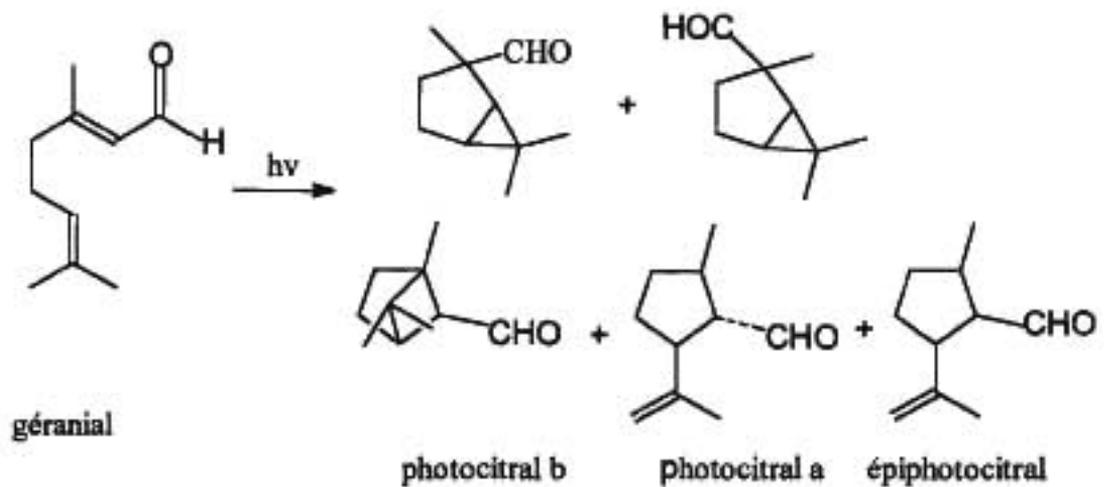


b) Oxydation du limonène en limonène-glycol

Fig. 14 : Réactions de décomposition et d'oxydation du limonène en hydroperoxydes et en limonène-glycol ^[50]



a) Isomérisation sous l'effet de la chaleur du gérانيال en isocitral



b) Réactions de photocyclisation du gérانيال en photocitral

Fig. 15 : Réactions d'isomérisation sous l'effet de la chaleur et de photocyclisation du gérانيال ^[80]

l'éthylène diamine tétracétique (EDTA) pour celles non utilisées dans l'alimentation. Les antioxydants les plus couramment employés sont ceux qui réagissent avec les radicaux libres : dérivés phénoliques, butylhydroxytoluène (BHT), butylhydroxyanisole (BHA) et les esters de l'acide gallique. Outre l'emploi d'anti-oxydants bien connus tels que les vitamines C et E, les polyphénols et les acides phénoliques, la pectine, la proline et les hydrolysats de protéines, des recherches sont en cours pour la mise en évidence des propriétés anti-oxydantes des extraits de romarin, de mousse de chêne et de fèves de soja.

D'autres moyens de protection, comme la protection anodique activée et la stabilisation par les rayons gamma, sont également à l'étude ^[50].

9. FACTEURS INFLUENÇANT LA COMPOSITION CHIMIQUE D'UNE HUILE ESSENTIELLE

Les relations entre les facteurs du milieu et la composition chimique d'une huile essentielle ont été abordées par BONIN et al. ^[51] et par BRUNETON ^[1].

Selon les premiers auteurs, la composition chimique d'une huile essentielle dépend du patrimoine génétique de la plante et des facteurs écologiques ou du milieu (nature du sol, bilan hydrique, compétition spatiale entre espèces et conditions climatiques).

D'après BRUNETON ^[1], différents facteurs sont susceptibles d'influer sur la composition chimique des huiles essentielles : l'origine géographique et la famille botanique de la plante, l'organe producteur (feuille, écorce, tige ou rhizome), l'existence de chimiotypes, le cycle végétatif, les facteurs de l'environnement et le procédé d'extraction. En effet, il a été démontré, que pour une même espèce végétale, la composition chimique de son huile essentielle, peut varier considérablement en fonction de la provenance de la plante à partir de laquelle l'essence a été obtenue. L'on peut citer en exemple dans le premier cas, *Hyptis suaveolens* Poit., dont la composition de l'huile essentielle varie considérablement en fonction de son origine ^[52]. Les espèces végétales appartenant à des familles différentes n'ont généralement pas la même composition chimique.

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes d'une plante (feuilles, fleurs, tiges, racines, etc.), si tous les organes d'une même espèce renferment une essence, sa composition chimique peut varier selon sa localisation. Ainsi dans le cas de *Citrus aurantium* L. (oranger amer), les huiles essentielles extraites des feuilles et des fleurs, suivant le même procédé, ont des compositions chimiques très différentes.

Les chimiotypes sont très fréquents chez les plantes à huiles essentielles. A titre d'exemple, citons le cas de *Ocimum basilicum* L., qui compte plusieurs chimiotypes : 4 et 5, respectivement, selon

GUENTHER ^[53] et SOBTI et PUSPANGANDAN ^[54], 26 d'après LAWRENCE ^[55]. Le constituant principal de l'huile essentielle de *Ocimum basilicum* L. du Burkina Faso est le linalol ^[56].

Pour une espèce végétale donnée, la proportion des différents constituants, peut varier de façon importante au cours du cycle végétatif de la plante. Ainsi chez *Mentha piperita*, on observe au cours du développement de la plante, une diminution de la teneur en (-)-menthone, correspondant à sa transformation en (-)-menthol et en (+)-néomenthol ^[1].

L'incidence des facteurs de l'environnement (température, humidité relative, durée d'insolation, etc.) et les techniques culturales (apport d'engrais) pour les espèces cultivées peuvent également intervenir ^[1].

La labilité des constituants des huiles essentielles, explique en partie, le fait que la composition chimique des produits obtenus par hydrodistillation, est différente de celle du mélange de constituants initialement présents dans les organes sécréteurs du végétal. En effet, au cours de l'hydrodistillation, l'eau, l'acidité du milieu et les températures élevées, peuvent induire une hydrolyse des esters et des composés insaturés. Ces facteurs, de même que les températures élevées du chromatographe en phase gazeuse peuvent également provoquer des réarrangements, des isomérisations, des racémisations, des oxydations, etc. ^[1, 57]. Par exemple, LAWRENCE ^[11] a observé une variation de la teneur en acétate de linalyle / linalol dans l'huile essentielle de *Salvia sclarea*, selon l'état du matériel végétal (frais ou sec). Selon cet auteur, l'excès d'humidité du matériel végétal frais et l'acidité du milieu provoquent une diminution de la teneur du composé majoritaire l'acétate de linalyle, correspondant à son hydrolyse en linalol.

10 . CONCLUSION

L'hydrodistillation, technique admise par différentes pharmacopées, est aussi la principale méthode quantitative de dosage des huiles essentielles .

La capacité à fournir des extraits de composition chimique très proche de celle des produits naturels et la sélectivité (obtention d'huiles essentielles déterpénées, privées de certains composés, comme les cétones ou riches en composés oxygénés) sont des avantages qui expliquent le développement de nouveaux procédés, telles que les extractions par microondes et par CO₂ supercritique. Ces procédés d'extraction ouvrent de nouvelles perspectives pour l'exploitation des plantes aromatiques, cela d'autant plus qu'ils sont peu coûteux et applicables à l'échelle industrielle.

Compte tenu de la volatilité des constituants des huiles essentielles, la chromatographie en phase gazeuse sur colonnes capillaires, se révèle être la méthode de fractionnement et d'analyse, la plus efficiente. Sa facilité de mise en oeuvre, son temps d'analyse assez court, la fiabilité des résultats et la possibilité d'automatisation du processus, en font une technique particulièrement adaptée, aux analyses

quantitative et qualitative des huiles essentielles. Cette méthode analytique peut être menée conjointement avec la chromatographie sur colonne et sur couche mince ou peut être couplée à la spectrométrie de masse. La chromatographie en phase gazeuse peut également être complétée par les méthodes spectrales : IR, UV, RMN du proton et du carbone 13.

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse en espace de tête est une méthode analytique, qui donne une huile essentielle de composition chimique très proche de l'essence contenue dans la plante.

Pour l'isolement d'un composé pur, il est utile de procéder au fractionnement de l'huile essentielle, par les méthodes chimiques ou physiques ou par la chromatographie sur colonne. Dans ce dernier cas, on opère en milieu inerte, pour éviter l'altération des composés.

CHAPITRE II : DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES SIX ESPÈCES AROMATIQUES ÉTUDIÉES

1. Les trois espèces aromatiques de la famille des Lamiaceae

1.1. Introduction

La famille des Lamiaceae appartient à l'ordre des Tubiflorae des Gamopétales. Elle comprend 200 genres et environ 3200 espèces dont 40 % sont aromatiques. Les huiles essentielles de plus de 30 espèces (*Rosmarinus officinalis* L., *Thymus zygis* L., *Hyssopus officinalis* L., etc.), sont commercialisées ^[58].

Les Lamiaceae forment une famille botanique, répartie dans le monde entier, dans des conditions de milieu souvent très variables. Toutefois, elle est surtout concentrée dans la région méditerranéenne, où elle constitue l'un des éléments caractéristiques de la végétation herbacée. La présence dans leurs tissus de glandes produisant des huiles essentielles répandues dans tous les organes, surtout dans les feuilles et fleurs, est à la base de leur utilisation économique.

De nombreuses Lamiaceae sont cultivées comme plantes ornementales, en raison de leur parfum et de leur aspect agréable ^[58].

De nos jours, les extraits et distillats de certaines espèces aromatiques de cette famille sont une importante source de matières premières pour les industries agro-alimentaire, de la parfumerie et des cosmétiques. En effet, importante est l'utilisation des espèces aromatiques de la famille des Lamiaceae, pour l'assaisonnement de diverses denrées alimentaires. L'essence extraite de la lavande entre dans la composition des parfums les plus délicats, des savons et des cosmétiques^[11, 58]. Le tableau 1 résume quelques espèces de la famille des Lamiaceae qui ont une importance économique et donne une

Tableau 1 : Estimation de la production d'huile essentielle de Lamiaceae ⁽¹¹⁾

Espèces végétales	quantités d'huile essentielle produites (en t)
<i>Mentha arvensis</i> L. f. <i>piperascens</i> Holmes (menthe japonaise)	8600
<i>Mentha x piperita</i> L. (peperment)	2367
<i>Mentha spicata</i> L. (spearmint)	880
<i>Lavandula x intermedia</i> Emeric. Ex Loisel (lavandin)	768
<i>Pogostemon cablin</i> (Blanco) Benth (patchouli)	563
<i>Mentha x gracilis</i> Sole	530
<i>Lavandula augustifolia</i> Mill. (Lavande)	462
<i>Rosmarinus officinalis</i> L. (romarin)	295
<i>Salvia sclarea</i> L. (Sauge)	72
<i>Lavandula latifolia</i> Medicus (asnic)	64
<i>Ocimum gratissimum</i> L. (y compris Clossimum) (basilic)	55
<i>Ocimum basilicum</i> L. (basilic)	42,5
<i>Thymus mastichina</i> L. (thym)	36,5
<i>Salvia officinalis</i> L. (sauge)	34,8
<i>Thymus zygis</i> L. and <i>Thymus vulgaris</i> L. (thym)	29
<i>Mentha x citrata</i> Ehrl.	26,5
<i>Mentha pulegium</i> L.	18,5
<i>Origanum vulgare</i> L. ssp. <i>viride</i> (Boiss.) Hayek (origan)	7,8
<i>Thymus capitatus</i> (L.) Hoffm. et Link (thym)	7,2
<i>Origanum majorana</i> L. (marjolaine, origan)	3,0
<i>Salvia lavandulifolia</i> Vahl	3,0
<i>Thymus pulegioides</i> L.	2,0
<i>Monarda citriodora</i> Cervantes ex Lag.	2,0
<i>Hyssopus officinalis</i> L.	1,8
<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton	1,5
<i>Satureja montana</i> L. (sariette, calaminth)	1,5
<i>Monarda fistulosa</i> L. var. <i>menthifolia</i> (Graham) Fern	0,1
<i>Ocimum americanum</i> L. (<i>O. canum</i> Sims)	0,1
<i>Nepeta cataria</i> L.	0,1
<i>Melissa officinalis</i> L. (mélisse)	0,1
<i>Aeollanthus myrianthus</i> Bak (Ae. <i>Gamwelliae</i> G. Tayl.)	< 0,05
<i>Hedeoma pulegioides</i> (L.) Pers.	< 0,05

estimation de la production mondiale de leurs huiles essentielles^[11].

Les huiles essentielles de nombreuses Lamiaceae, sont employées en pharmacie pour leur pouvoir thérapeutique ^[58].

En phytothérapie, la famille des Lamiaceae occupe une importante place. En effet, les infusions et décoctions de plusieurs espèces aromatiques de cette famille sont utilisées dans le traitement de diverses maladies ^[11].

1.2. *Hyptis spicigera* Lam. (Nom vernaculaire en Mooré : Rung-rungui ou Rung-rundaaga)^[59]

1.2.1. Botanique et utilisation traditionnelle

Environ 400 espèces du genre *Hyptis* sont connues à travers le monde ^[52]. *Hyptis spicigera* est l'une des cinq espèces couramment rencontrées en Afrique occidentale tropicale ^[60]. *Hyptis spicigera* est une plante pubescente, scabre, très parfumée, ligneuse à la base et atteignant plus d'un mètre de haut. Les tiges simples ou ramifiées sont quadrangulaires, vertes ou rougeâtres. Elle possède des épis terminaux, compacts et dressés, de 2 à 10 cm de long et de 5 à 15 mm de diamètre (figure 16). On la trouve surtout dans les marécages et les zones à inondations temporaires^[61].

C'est une plante aromatique, le plus souvent spontanée, que l'on rencontre dans la végétation des régions tropicales d'Afrique, d'Amérique et de l'Inde ^[61]. Certaines espèces du genre *Hyptis* dont *Hyptis spicigera* sont couramment utilisées en médecine traditionnelle africaine ^[62] ou dans l'alimentation pour assaisonner les mets ^[63]. En Afrique centrale et de l'est et au Soudan par exemple, *Hyptis spicigera* est cultivée et ses graines sont consommées comme celles du sésame ^[63].

La plante entière est également consommée en boisson théiforme, comme eupnéique, béchique excitant et fluidifiant des sécrétions bronchiques ^[61]. En médecine traditionnelle sénégalaise, le décocté est utilisé comme revigorant, tandis que la poudre des tiges, avec feuilles et fleurs, est employée comme antimigraineux. La plante entière, est utilisée comme désinfectant funéraire. Par introduction des inflorescences dans les narines, elle est utilisée contre les céphalées et coryzas. Dans le nord du Nigéria, les populations l'utilisent dans la fabrication de parfums, de savons et de diverses lotions. Le décocté est pris sous forme de bain contre les maladies de la peau ^[63].

Hyptis spicigera, est utilisée de façon traditionnelle dans la conservation des graines pour limiter leurs infestations par les insectes ou pour la protection des récoltes contre les termites ^[64].



Fig. 16 : *Hyptis spicigera* Lam.

1.2.2. Extraction et analyse de l'huile essentielle

Les données bibliographiques relatives à la composition chimique de l'huile essentielle de *Hyptis spicigera*, se rapportent aux espèces du Nigeria et du Burkina Faso.

Deux échantillons d'huile essentielle de *H. spicigera* du Nigeria ont été analysés par ONAYADE et al. ^[63]. Le premier échantillon est obtenu par hydrodistillation avec un rendement de 0,1 %, à l'aide d'un appareil de type CLEVINGER ^[65] et le second par extraction-distillation, à l'aide d'un appareil de type LICKENS-NIKERSON ^[66]. Pour faciliter son analyse par chromatographie en phase gazeuse, l'huile essentielle obtenue par extraction-distillation a été fractionnée par chromatographie sur colonne de gel de silice. L'analyse, par chromatographie en phase gazeuse, des fractions obtenues par chromatographie sur colonne et celle des essences des deux échantillons, ont montré que ces derniers ont qualitativement la même composition chimique. Les principaux composés identifiés sont : β -caryophyllène (67,6 %), α -pinène (5 %), α -humulène (2,9 %), oct-1-ène-3-ol (2,2 %), oxyde de caryophyllène (2,1 %) et β -pinène (1,7 %).

En 1993, KINI et al. ^[67], ont étudié la composition chimique des huiles essentielles des feuilles fraîches, des inflorescences fraîches et séchées de *H. spicigera* du Burkina Faso. Les rendements en huile essentielle sont de 0,13 % pour les feuilles fraîches et de 0,37 % pour les inflorescences fraîches et sèches.

Toutes les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation. Les résultats de l'analyse par

chromatographie en phase gazeuse révèle une analogie qualitative de la composition chimique de ces essences. En effet, ces huiles essentielles sont des essences sesquiterpéniques avec toutefois, une variabilité de la proportion des constituants majoritaires : β -caryophyllène (65,7 ; 57,3 et 62,7 %, respectivement pour les feuilles fraîches, les inflorescences fraîches et les inflorescences sèches), α -pinène (5,1 ; 5 et 2 %), sabinène (4,1 ; 4,8 et 3,8 %), α -phellandrène (3,5 ; 2,1 et 2,3 %), β -pinène (3,2 ; 2,9 et 1 %), γ -terpinène (2,3 ; 2,1 et trace), α -terpinéol (2,1 ; 3,1 et 3,2 %), α -humulène (2,1 ; 3,4 et 3,7 %), époxyde de caryophyllène (1,4 ; 1,2 et 1,8 %), δ^3 -carène (1,4 ; 1,6 et 1,4 %), cadalène (1,3 ; 1,1 et 1,4 %), alloaromadendrène (1,1 ; 1,2 et 1,4 %) et γ -cadinène (1,1 ; 0,9 et 0,3 %).

ONAYADE et al. ^[63] ont rapporté, la présence dans l'huile essentielle de *H. spicigera* du Nigéria, des méthylesters des acides gras en C₁₆ et en C₁₈ et KINI et al. ^[67] la présence, dans *H. spicigera* du Burkina Faso de ces composés dont le palmitate de méthyle aux taux de 1 ; 1,2 et 1,4 %, respectivement dans les feuilles fraîches, les inflorescences fraîches et les inflorescences sèches.

Des études antérieures sur *H. spicigera* du Soudan ^[68] et du Nigéria ^[63] ont montré que les graines contiennent une teneur élevée en huile fixe, constituée des dérivés d'acides gras. En réalité, les dérivés des acides gras ne sont pas des constituants des huiles essentielles, cependant, la plupart de ces composés peuvent être entraînés par hydrodistillation, c'est ce qui explique leur présence dans les huiles essentielles ou parmi les principes volatils des cellules de culture ^[69].

1.3. *Hyptis suaveolens* Poit. ((Nom vernaculaire en Mooré : Rung-rung-gnaaga)^[59]

1.3.1. Botanique et utilisation traditionnelle

Espèce pantropicale, *Hyptis suaveolens* est une plante à fort parfum poivro-menthé, de 1,50 m de haut. Elle est pubescente, infrutescente, à nombreuses ramifications annuelles. Les fleurs sont bleuâtres, à calice de 8 mm avec 10 côtés et 5 lobes pointus (figure 17) ^[61, 70].

Au Sénégal, les inflorescences sont introduites dans les matelas comme insecticide. *H. suaveolens* est également employée dans la préparation de bâtons fumigènes contre les moustiques ^[61].

De très nombreuses utilisations sont connues pour cette plante. En médecine traditionnelle sénégalaise par exemple, elle occupe une bonne place dans les thérapeutiques, sous forme de tisane, d'infusion, de décocté ou de cataplasme pour le traitement des furoncles et des affections cutanées ^[71]. Selon MORTON ^[70], cette plante est utilisée comme un agent antiappétant ou pour combattre les indigestions, les coliques, la nausée, la flatulescence et les rhumatismes.

Des investigations chimiques ont mis en évidence la présence de diterpénoïdes ^[72], de stéroïdes ^[73] et de triterpènes ^[74], dans les extraits à l'aide de solvants organiques, des parties aériennes de cette



Fig. 17 : *Hyptis suaveolens* Poit.

1.3. 2. Extraction et analyse de l'huile essentielle

Du point de vue chimique, *H. suaveolens* a fait l'objet de nombreux travaux. La plupart de ces travaux sont relatifs à son huile essentielle dont la composition chimique qualitative et quantitative est extrêmement variable suivant les régions de végétation de la plante. Ainsi, les huiles essentielles des espèces de l'Inde^[75, 76, 77], du Brésil^[52], du Vénézuëla^[78], de l'Amazonie^[52], de la Malaisie^[79], du Nigéria^[80] des Îles Néerlandaises^[81], du Burkina Faso^[82], du Bénin et du Togo^[83] ont été analysées.

IWU et al.^[80] d'une part et FUN et al.^[81] d'autre part, ont rapporté les propriétés antimicrobiennes de l'huile essentielle de *H. suaveolens* et PANDEY et al.^[84], ses propriétés antifongiques.

Par hydrodistillation NAYAK et GUHA^[75], ont obtenu avec un rendement de 0,06 %, à partir de l'espèce de l'Inde, une huile essentielle, composée de (-)-sabinène (31 %), (+)-limonène (12 %), d'un "sesquiterpène azulénique" (17 %) et de 40 % de sesquiterpènes et d'alcools sesquiterpéniques non identifiés. Des investigations ont également été menées, sur *H. suaveolens* de différentes régions de l'Inde, Kuman^[76], Hyderabad et Bangalore^[77].

De l'essence de *H. suaveolens* de Kuman, région du nord de l'Inde, obtenue avec un rendement de 0,1 %, PANT et SINGH^[76] ont identifiés comme constituants principaux : sabinène (41%), α -pinène

(9,8 %), β -caryophyllène (7,9 %), limonène (6,8 %) et plus de 50 autres composés dont l'ar-abiétatriène (4,4 %) et l'ar-abiétatriénol (0,4 %), alors que le 1,8-cinéole (31,5 %), le sabinène (15 %), le linalol (12,5 %), le β -caryophyllène (10 %), le β -pinène (5 %) et le terpinèn-4-ol (3,5 %) ont été identifiés comme principaux constituants de l'huile essentielle de l'échantillon de Bangalore. Selon MALLAVARAPURU et al. ^[77], l'essence de l'échantillon de Hyderabad, qui présente à peu près les mêmes teneurs en 1,8-cinéole (31,5 %), en sabinène (9,5 %), en β -pinène (3,1 %) et en terpinèn-4-ol (4 %), que celui de Bangalore, se révèle pauvre en linalol (1,3 %) et en β -caryophyllène (0,3 %). Elle s'avère plutôt riche en oxyde de caryophyllène (10,6 %), en p-cymène (3,6 %) et en fenchone (3,4 %).

En 1990, FUN et al. ^[81] ont trouvé comme constituants principaux de l'huile essentielle de *H. suaveolens* des Îles Néerlandaises, les composés suivants : 1,8-cinéole (35,9 %), sabinène (12 %), β -pinène (8,3 %), germacrène-D (4 %) et α -pinène (3,8 %).

Le 1,8-cinéole a également été identifié comme constituant principal de l'essence de *H. suaveolens* de l'Amazonie ^[52].

En 1993, KONE ^[82] a rapporté, sans indiquer les pourcentages relatifs, la composition chimique de l'huile essentielle des feuilles d'un échantillon de *H. suaveolens* du Burkina Faso. L'huile essentielle de cet échantillon a comme constituants principaux : le limonène, l' α -thujène, l' α -pinène, le β -phellandrène et le β -caryophyllène.

On connaît également la composition chimique de l'huile essentielle de *H. suaveolens* du Bénin ^[83], dont les constituants principaux sont : le β -caryophyllène (15,3 à 23 %) et le sabinène (13,5 à 20 %).

Selon KOUMAGLO et al. ^[83], les constituants principaux de l'huile essentielle de *H. suaveolens* du Togo, dont le rendement par rapport à la matière sèche varie de 0,2 à 0,3 %, sont : le sabinène (17 à 24 %), le terpinolène (4 à 8 %), le β -caryophyllène (5 à 21 %) et le bicyclogermacrène (3 à 5 %).

1.4. *Ocimum americanum* Linn., syn *O. canum* Sims (Nom vernaculaire en Mooré : yulin-gna-raaga)^[59]

1.4.1. Botanique et utilisation traditionnelle

Le genre *Ocimum* représente un groupe important de plantes aromatiques de la famille des Lamiaceae ^[85]. Selon LAWRENCE et al. ^[11], il est caractérisé par un haut degré de polymorphisme, ce qui explique d'une part, l'existence d'une multitude d'espèces et de variétés et, d'autre part, la confusion rencontrée dans la littérature, concernant la taxonomie des espèces du genre *Ocimum*. En effet, dans cette littérature, on trouve souvent une synonymie entre les noms, *Ocimum americanum*, *Ocimum canum*, *Ocimum kilimandcharicum* et *Ocimum basilicum*, particulièrement pour les plantes contenant du camphre ^[11, 86-88].

Selon SOBTI et al. ^[85], environ 160 espèces réparties principalement dans les forêts tropicales d'Afrique, ont été inventoriées.

Ocimum americanum est une plante suffrutescente, presque glabre, de 30 à 40 cm de haut, mais pouvant atteindre 50 cm en culture. Les tiges quadrangulaires, sont ramifiées et forment des boules compactes de teinte vert-clair. Les feuilles denticulées, sont pétiolées, minces, ovales, cunées à la base, acuminées au sommet (figure 18)^[6], 89].

Certaines espèces du genre *Ocimum*, dont *Ocimum americanum* sont utilisées dans les pharmacopées traditionnelles de plusieurs pays africains ^[90]. En effet, on attribue à *Ocimum americanum*, d'intéressantes vertus thérapeutiques : les feuilles sont utilisées dans le traitement des parasitoses cutanées, des coliques, des tumeurs de l'estomac et des yeux. Cette plante est également utilisée dans le traitement des fièvres et ses propriétés tonique, diurétique, diaphorétique, sudorifique, spermicide, spasmolytique, hémostatique, ophtalmique et émétique ont été rapportées. Ses feuilles attireraient les scorpions qu'elles immobiliseraient. On signale, l'efficacité de sa racine dans le traitement contre les venins des serpents ^[91].



Fig. 18 : *Ocimum americanum* Linn.

1.4.2. Analyse de l'huile essentielle

La plupart des espèces du genre *Ocimum* trouvent une application en parfumerie et dans

l'industrie des cosmétiques, pour la teneur élevée de leurs huiles essentielles en composés oxygénés : linalol, géraniol, citral, camphre, eugénol, méthylchavicol, thymol, etc. ^[85].

Une étude bibliographique de *Ocimum americanum* montre l'existence de six chimiotypes, à travers le monde, ayant pour constituant principal, soit le cinnamate de méthyle, soit le camphre, soit le méthylchavicol, soit le linalol, soit l'eugénol, soit la fenchone, soit l'eugénol et le farnésol ou le citral.

L'huile essentielle de type "cinnamate de méthyle" a été obtenue à partir de *Ocimum canum* de la république Centrafricaine ^[61], de Somalie ^[92] et de l'Inde ^[55, 93].

L'essence de type "camphre" a été rapporté par BECKELEY ^[94], CHOPRA et al. ^[95], THOMSEN ^[96], SOBTI et PUSHPANGADAN ^[85]. Selon THOMSEN ^[96], la plante entière contient en période de maturité 0,5 à 0,8 % d'essence, elle-même constituée d'environ 65 % de camphre.

Le camphre a également été rapporté comme constituant majoritaire de l'huile essentielle de la plante croissant à l'état naturel en Somalie ^[97] ou de celle cultivée en Inde ^[86, 87].

A partir de *Ocimum americanum* de l'Inde, SOBTI et PUSHPANGADAN ^[85] d'une part, et GUPTA et al. ^[98], d'autre part, ont obtenu une huile essentielle dont le constituant principal est le méthylchavicol.

GULATI et al. ^[99], SOBTI et PUSHPANGADAN ^[54] ont trouvé le linalol comme composé majoritaire de l'huile essentielle de *Ocimum canum* de l'Inde. Plus récemment l'huile essentielle de type "linalol" a été rapportée par NTEZURUBANZA et al. ^[88] et par LAWRENCE ^[100].

Ce dernier auteur ^[98] rapporta également l'eugénol ou la fenchone comme principal constituant de l'huile essentielle *Ocimum canum*.

Pour ce qui concerne *Ocimum canum* du Nigéria, EKUNDAYO et al. ^[101] signalent l'eugénol et le farnésol, comme constituants principaux de son huile essentielle.

L'essence de "type citral" a été rapportée pour la première fois par RAKSHIT ^[102], puis par TAYAL et DUTT ^[103], par BASLAS et al. ^[104], par LAWRENCE ^[100] et par SARIN et al. ^[87].

2. Les trois espèces végétales de la famille des Poaceae

2.1. Introduction

La famille des Poaceae est bien représentée dans toutes les parties du globe. D'après THAPPA et al. ^[105], sur les 85 espèces qui constituent le genre *Cymbopogon*, une soixantaine a fait l'objet d'une analyse chimique.

2.2. *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng (Nom vernaculaire en Mooré : Soompiiga)⁽⁵⁹⁾

2.2.1. Botanique et utilisation traditionnelle

Cymbopogon schoenanthus est une herbe odorante, se présentant en colonies étendues, composées de touffes indépendantes partant d'une souche rhizomateuse. Les feuilles longues et larges, sont dures et enflées à la base. De la base de chaque groupe de feuilles, sortent des chaumes donnant une panicule terminale et allongée, composée de plusieurs épis. L'inflorescence longue, est formée de glomérules (figure 19) ^(59, 61, 91).

C'est une plante, que l'on rencontre dans les zones soudano-sahéliennes, sur les terres argilo-latéritiques.

Les tiges feuillées ou les rhizomes sont utilisées dans les thérapeutiques traditionnelles, aussi bien en usage interne, comme tonique, antispasmodique, dépuratif, fébrifuge, antiseptique intestinal, qu'externe, comme désinfectant funéraire, antipaludéen et contre le ver de Guinée ^(61, 91). Dans la médecine traditionnelle égyptienne, cette plante jouit d'une réputation d' antispasmodique rénal et de diurétique. La médication mise en œuvre, consiste à préparer une décoction, consommée en boisson théiforme ⁽¹⁰⁶⁾.

Par la suite, les travaux de plusieurs auteurs ^(107, 108) ont montré que le principe actif responsable de l'activité antispasmodique, est un sesquiterpènediol (le cryptomériol).

Une étude ethnobotanique récente, réalisée par MILLOGO-RASOLODIMBY et al. ⁽¹²¹⁾ montre que cette plante est utilisée, en pharmacopée traditionnelle au Burkina Faso, pour soigner la toux des nourrissons et des enfants.



Fig. 19 : *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng.

2.2.2. Analyse de l'huile essentielle

Les différentes études effectuées sur l'huile essentielle de *C. schoenanthus*, concernent les essences de l'espèce du Soudan ^[109], de l'Inde ^[110] et du Togo ^[83].

De *C. schoenanthus* du Soudan, SIDDIQUI et al. ^[109] ont obtenu, avec un rendement de 0,8 % par rapport à la matière végétale fraîche, une huile essentielle composée de 70 % de composés monoterpéniques : dihydrocarvéol (35 %), linalol (22 %), cis-carvéol (5%), limonène (3%), citral a et citral b, respectivement au taux de 3 et 2 %.

Selon ASHOK et al. ^[110], les constituants majoritaires de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* de l'Inde sont : limonène (19,5 %), undécane-2-one (14,7 %), camphène (8 %) et l'élémol (4,5 %). Selon ces auteurs la teneur en pipéritone n'est que de 0,4 %.

Plus récemment, KOUMAGLO et al. ^[83] ont rapporté la composition chimique des huiles essentielles de différents échantillons de *C. schoenanthus*, récoltés à Bassar, Kara et Kara Djambé, trois localités du Togo. Ces essences ont été obtenues, avec un rendement de 2 % par rapport à la matière végétale sèche. Les composés majoritaires identifiés sont : pipéritone (58 à 71 %), δ -2-carène (17 à 24 %), élémol (3,8 à 9 %) et limonène (2,2 à 3,5 %). Les autres mono et sesquiterpènes présents à des taux faibles et comparables sont : (Z)-hydrate de pinène (0,5 à 1%), (E)-hydrate de pinène (0,3 à 0,6 %), α et β -terpinéol (0,5 à 1 %) pour la première classe de composés, élémène (0,5 à 1,8 %), tyglate de citronellyle (0,6 à 1,7 %) et γ -eudesmol (0,3 à 0,9 %) pour les dérivés en C₁₅. Notons que l'estragole, l'humulène, le (E)- β -farnésène, les γ et δ -cadinène, l'oxyde de caryophyllène, le β -eudesmol et l' α -cadinol, apparaissent en faible proportion ou sont totalement absents dans certains échantillons.

2.3. *Cymbopogon giganteus* Chiov. ((Nom vernaculaire en Mooré : Kuwaré)^[59]

2.3.1. Botanique et utilisation traditionnelle

C. giganteus est une herbe robuste, vivace, dressée, à plusieurs chaumes partant de la souche rhizomateuse ; elle peut atteindre plus de 2m de haut. Les feuilles longuement acuminées, ont jusqu'à 4 cm à la base ; elles sont longues de 30 à 40cm, vert glauque, souvent recouvertes lorsqu'elles sont jeunes d'une pubescence farineuse. Les panicules d'épis dressés, compactes, peuvent atteindre 60 cm de long. Les nombreux épillets serrés et se chevauchant, sont entourés, avant de se développer par des spathes acuminées. Les articulations et les pédicelles densément ciliés, donnent une teinte soyeuse argentée à l'inflorescence (figure 20) ^[61].

Plante intertropicale, on la trouve surtout dans les bas-fonds fertiles de la zone soudanienne. Les

tiges feuillées, les feuilles ou les rhizomes entrent dans les thérapeutiques traditionnelles pour lutter contre différents maux, aussi bien en usage interne qu'externe. En effet, on lui attribue des propriétés fébrifuges et une grande efficacité dans le traitement des maladies pulmonaires. Ses actions contre l'ictère et le paludisme sont également signalées ^[61, 91].



Fig. 20 : *Cymbopogon giganteus* Chiov.

2.3.2. Extraction et analyse de l'huile essentielle

Les données bibliographiques relatives à *C. giganteus* se rapportent à la composition chimique des huiles essentielles de la plante récoltée en Angola ^[111], au Mali ^[112, 113], au Cameroun et en Côte-d'Ivoire ^[7]. À l'exception de l'échantillon de Côte d'Ivoire ^[7], qui ne contient pas de limonène, ces essences, bien que provenant d'origines diverses, contiennent les mêmes types de composés principaux : le limonène et ses produits d'oxydation (les menthadiénols et les isopipériténols).

L'étude comparative des huiles essentielles de *C. giganteus* et *C. densiflorus* d'Angola a révélé d'après CARDOSO DOVALE et al. ^[114], une analogie quantitative et qualitative de leurs constituants principaux. D'après OUAMBA ^[7], il existe également une similitude entre les compositions chimiques des essences de *C. giganteus* du Cameroun et de la Côte d'Ivoire et de *C. densiflorus* du Congo.

2.4. *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Nom vulgaire en Français: citronnelle)^[59]

2.4.1. Botanique et utilisation traditionnelle

C. citratus est une herbe vivace, sans ramifications, à odeur de citron, poussant en touffes denses. Les feuilles isolées, vert-clair, pubescentes, longuement effilées, sont fortement parfumées. Réunies en gaine sur une certaine partie de leur longueur, elles ont des bords hyalins, formés de nombreuses petites dents dirigées vers le sommet. La partie souterraine est constituée par un bulbe ou rhizome. La hampe florale est formée de nombreuses ramifications terminées par des épis agglomérés verdâtres (figure 21) ^[61].

Probablement originaire de l'Inde, spontanée ou cultivée dans les jardins, cette plante est largement répandue dans les régions tropicales. Les tiges feuillées ou les rhizomes sont utilisées sous forme de décocté ou d'infusion dans les thérapeutiques traditionnelles, contre la toux ou comme boisson rafraîchissante et digestive ^[59].



Figure 21 : *Cymbopogon citratus* (D.C. ex. Nees)

2.4.2. Extraction et analyse de l'huile essentielle

C. citratus a fait l'objet de très nombreuses études, en raison surtout, de son huile essentielle, qui est exploitée industriellement ^[115-119]. On connaît la composition chimique des huiles essentielles, de *C.*

*citratu*s provenant de différents pays : Brésil ^[120], Ceylan ^[121], Japon ^[122], Bangladesh ^[123], Philippines ^[124], Somalie ^[125], Inde ^[126], Nigéria ^[127], Ghana ^[128], Zaïre ^[129], Sao-Tomé ^[130], Ethiopie ^[131] et Congo ^[7].

En dehors des essences provenant de Sao-Tomé et d'Ethiopie, le citral (57 à 86 %) a toujours été rapporté, de part le monde, comme constituant principal de l'huile essentielle de *C. citratu*s. En effet, à partir des feuilles de *C. citratu*s de Sao-Tomé, CORREA ALVES et al. ^[130] ont obtenu une huile essentielle, avec une faible teneur en citral (27,3 %). Selon ABEGAZ et al. ^[131], l'huile essentielle de l'espèce de l'Ethiopie, dont le composant principal est plutôt le géraniol (40 %), ne contient que 13 % de citral. Cette essence, de part sa composition chimique, se rapproche plutôt de celle de *Cymbopogon nardus*, d'après, d'une part les études de THAPPA et al. ^[105] et, d'autre part, celles de PICKLES ^[132].

2.5 CONCLUSION

Les travaux antérieurs sur les espèces qui font l'objet de notre étude, nous ont permis de connaître la nature des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de chaque plante, en fonction de sa provenance. Il apparaît qu'aussi bien le rendement en huile essentielle que la composition chimique varient selon l'espèce végétale et en fonction de sa provenance.

DEUXIÈME PARTIE :
RÉSULTATS DES ANALYSES ET DISCUSSION

CHAPTRE I : EXTRACTION ET ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES DE TROIS ESPÈCES AROMATIQUES DE LA FAMILLE DES LAMIACEAE

1 INTRODUCTION

Nous avons analysé (par chromatographie en phase gazeuse et par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse) les huiles essentielles de trois espèces végétales de la famille des Lamiaceae et celles de trois espèces appartenant à la famille des Poaceae.

Au Burkina Faso, certaines espèces de la famille des Lamiaceae, dont *Hyptis spicigera* Lam. et *Hyptis suaveolens* Poit, sont utilisées de façon traditionnelle, dans la conservation des graines et des récoltes. La plante entière ou la fumée dégagée par sa combustion sont également utilisées comme insectifuge. Cela suppose que ces plantes à fort parfum, possèdent une activité biologique, qui peut être liée à la présence de certains constituants de leurs principes volatils.

Sans déterminer leurs compositions chimiques, nous avons, dans une étude préliminaire, montré que les huiles essentielles de trois plantes de cette famille (*Ocimum basilicum* L., *Hyptis spicigera* Lam. et *Hyptis suaveolens* Poit) ont une activité insecticide vis à vis la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fabricius) ^[26a, 26b]. Dans le but de compléter cette étude préliminaire, nous avons entrepris les analyses des huiles essentielles de *Ocimum americanum* Linn., *Hyptis spicigera* Lam. et *Hyptis suaveolens* Poit.. La connaissance de la composition chimique de ces essences, pourrait permettre par comparaison avec les données de la littérature de mettre en évidence les composés à la base de cette activité biologique.

Par ailleurs, nous avons procédé au fractionnement de l'huile essentielle de *Ocimum americanum*, pour faciliter l'identification des composés individuels et en vue d'en isoler certains. Les méthodes les plus utilisées pour fractionner les huiles essentielles ont été exposées dans le premier chapitre (chapitre I, 6.2). Nous avons essayé celles qui nous sont accessibles, compte tenu de l'équipement du laboratoire. Nous avons ainsi effectué des essais de fractionnement des huiles essentielles par chromatographie sur colonne, par distillation sous pression réduite, par chromatographie préparative et par distillation sous pression réduite suivie de chromatographie sur colonne. Finalement, en dehors de la chromatographie en phase gazeuse, nous avons retenu la combinaison distillation sous pression réduite et la chromatographie sur colonne, comme méthodes de fractionnement de nos échantillons d'huiles essentielles.

2. *Hyptis spicigera* Lam.

Nous avons analysé les huiles essentielles de deux échantillons A et B de *Hyptis spicigera* du Burkina Faso : l'échantillon A a été récolté dans la forêt classée de Ouagadougou, dans une rizière et l'échantillon B à Kossodo, dans un champ de mil (cf., partie expérimentale, tableau 32). Les rendements en huile essentielle sont respectivement de 0,52 % pour l'échantillon A, constitué des feuilles, tiges et inflorescences et de 0,28 % pour l'échantillon B, constitué des feuilles et tiges de jeunes plantes.

Ces échantillons ont été récoltés à des périodes différentes sur les deux sites (cf., partie expérimentale, tableau 32). Cependant, les analyses chromatographiques, montrent que leurs huiles essentielles sont constituées en majorité d'hydrocarbures monoterpéniques, avec une teneur élevée en α -pinène (43,9 et 33,6 %, respectivement pour A et B), β -pinène (15 et 12,5 %), α -phellandrène (9 et 5,7 %), sabinène (6 et 3,5 %), terpinolène (1,5 et 4,4 %) et α -thujène (1,5 et 1,1 %) (Tableaux 2, 3 et figures 22 et 23).

Les essences des échantillons A et B contiennent aussi des hydrocarbures monoterpéniques oxygénés, mais d'une façon générale, ceux-ci apparaissent en faible proportion, à l'exception du 1,8-cinéole qui représente 5,7 % et 6,8 %*, respectivement des huiles essentielles des échantillons A et B (tableaux 2 et 3).

Si, eu égard aux constituants principaux et à leurs proportions, on constate une certaine analogie de composition chimique entre les huiles essentielles des échantillons A et B (figure 24), on peut néanmoins remarquer l'absence, dans l'huile essentielle de l'échantillon B, d'un certain nombre de constituants présents dans l'essence de l'échantillon A et vice-versa. On peut par exemple noter que, le camphène (0,2 %), l' α -terpinène (0,2 %), le γ -terpinène (0,7 %), le 3-phénylbutanoate de méthyle (0,4 %), l' α -terpinéol (0,3 %), le cis-verbénol (0,4 %) et l' α -caryophyllène (0,4 %), sont absents dans celle de l'échantillon B. A l'inverse, le p-cymène (0,3 %), le camphonéol (0,8 %), l' α -humulène (0,9 %), le germacrène-D (0,6 %) et le γ -cadinène (0,6 %) présents dans l'huile essentielle de l'échantillon B, sont absents, dans celle de l'échantillon A (tableaux 2 et 3).

Les huiles essentielles des échantillons A et B contiennent également des hydrocarbures sesquiterpéniques. Le β -caryophyllène, sesquiterpène principal dans les essences A et B, est à un taux plus élevé dans l'échantillon B (17,1 %), que dans l'échantillon A (6,6 %) (figure 24).

* mélange 1,8-cinéole + limonène

Tableau 2 : Composition chimique de l'huile essentielle de *H. spicigera* Lam.(échantillon A)

N° Constituants*	Indices de rétention sur DB-1	pourcentage relatif
1 α -thujène	923	1,5
2 α -pinène	931	43,9
3 camphène	940	0,2
4 sabinène	968	6,0
5 β -pinène	968	15,0
6 myrcène	983	0,9
7 α -phellandrène	993	9,0
8 α -terpinène	1004	0,2
9 p-cymène	1007	1,1
10 1,8-cinéole	1014	5,7
11 limonène	1018	2,2
12 ocimène**	1039	0,3
13 γ -terpinène	1047	0,7
14 terpinolène	1076	1,5
15 linalol	1083	0,2
16 3-phénylbutanoate de méthyle	1093	0,4
17 cis-verbénol	1120	0,4
18 terpinèn-4-ol	1155	0,7
19 α -terpinéol	1166	0,3
20 β -caryophyllène	1401	6,6
21 β -gurjulène	1424	< 0,1
22 α -caryophyllène	1434	0,4
23 NI***	1460	0,3
24 NI***	1490	0,3
25 oxyde de caryophyllène	1550	0,6
Total		98,4

* N° constituants par ordre d'élution sur la colonne DB-1 ; ** mélange des deux isomères ; *** non identifié

Tableau 3 : Composition chimique de l'huile essentielle de *H. spicigera* Lam. (échantillon B).

N° constituant *	Temps de Rétention sur OV101 en (mn)	pourcentage relatif
1 α -thujène	6,781	1,1
2 α -pinène	6,999	33,6
3 sabinène	7,917	3,5
4 β -pinène	8,044	12,5
5 myrcène	8,37	0,8
6 α -phellandréne	8,777	5,7
7 p-cymène	9,232	1,1
8 limonène + 1,8-cinéole	9,169	6,8
9 cis- β -ocimène	9,995	0,1
10 trans- β -ocimène	10,318	0,4
11 terpinolène	11,221	4,4
12 linalol	11,483	0,2
13 p-cymenène	11,668	0,3
14 M** = 151	12,659	0,8
15 camphonéol	12,845	0,8
16 α -terpinéol	13,102	0,2
17 terpinén-4-ol	13,451	0,2
18 NI ***	13,835	0,6
19 NI ***	14,415	0,5
20 β -caryophyllène	21,277	17,1
21 M ** = 204	21,792	0,4
22 M** = 204	21,97	0,4
23 α -humulène	22,141	0,9
24 germacrène D	22,837	0,6
25 γ -cadinène	23,648	0,6
26 oxyde de caryophyllène	25,366	3,5
27 γ -eudesmol	26,687	0,2
28 β -eudesmol	27,096	0,2
29 α -eudesmol	27,529	0,3
Total		97,8

* N° constituants par ordre d'élution sur la colonne OV 101 ; ** masse molaire ; *** non identifié

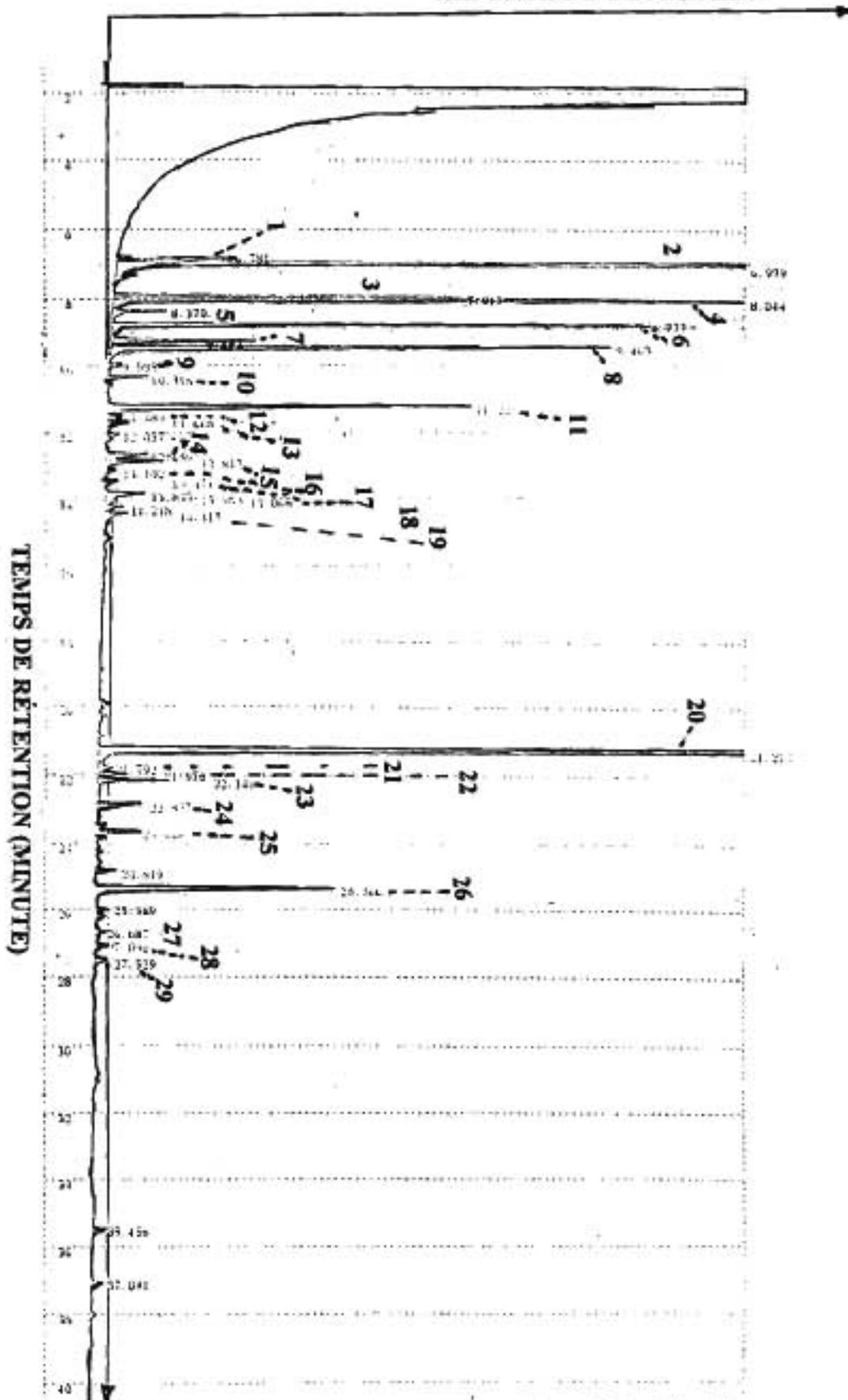


Fig. 22 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *H. spicigera* Lam. (échantillon B)

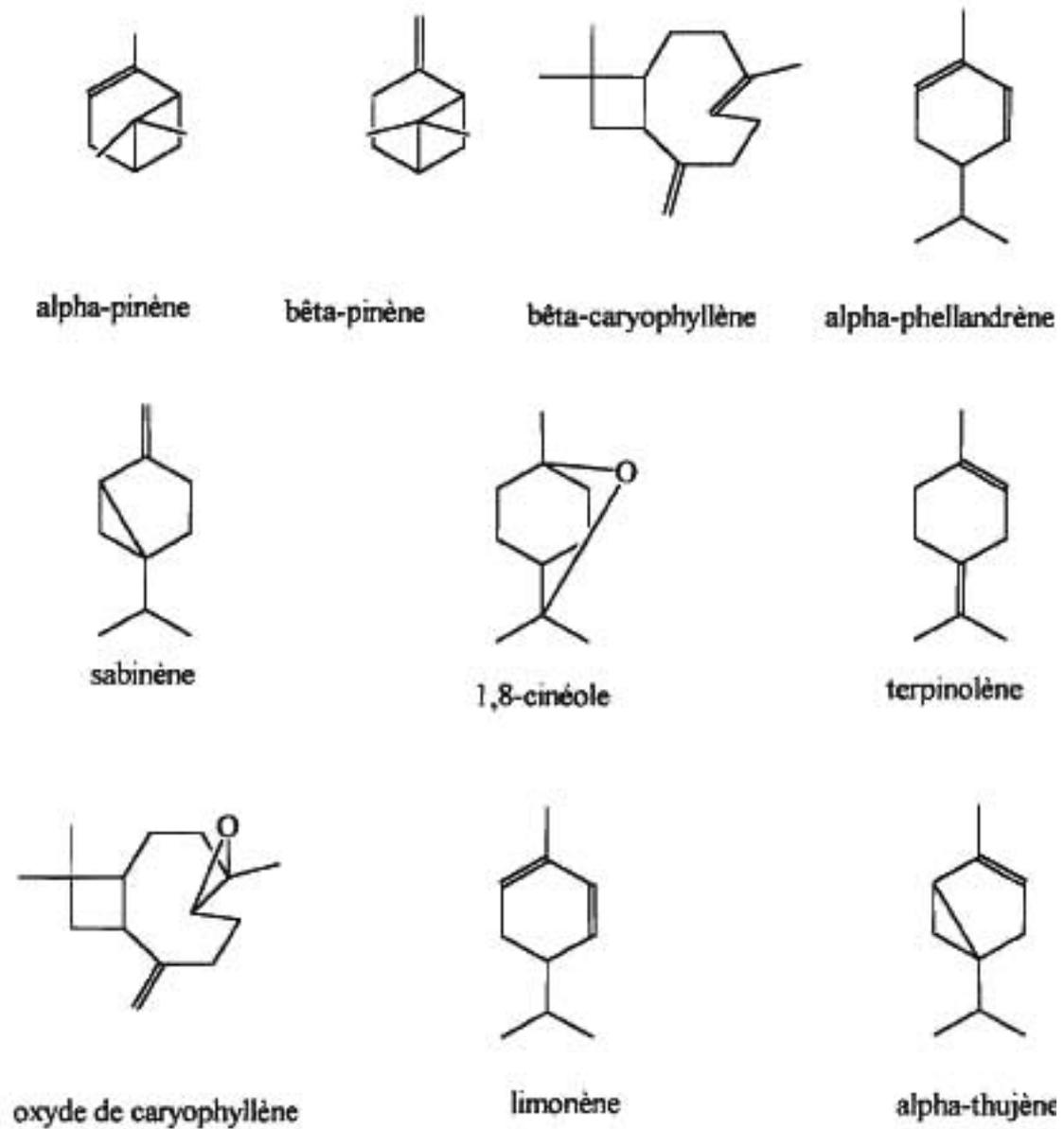


Fig. 23 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Hyptis spicigera* (échantillons A et B)

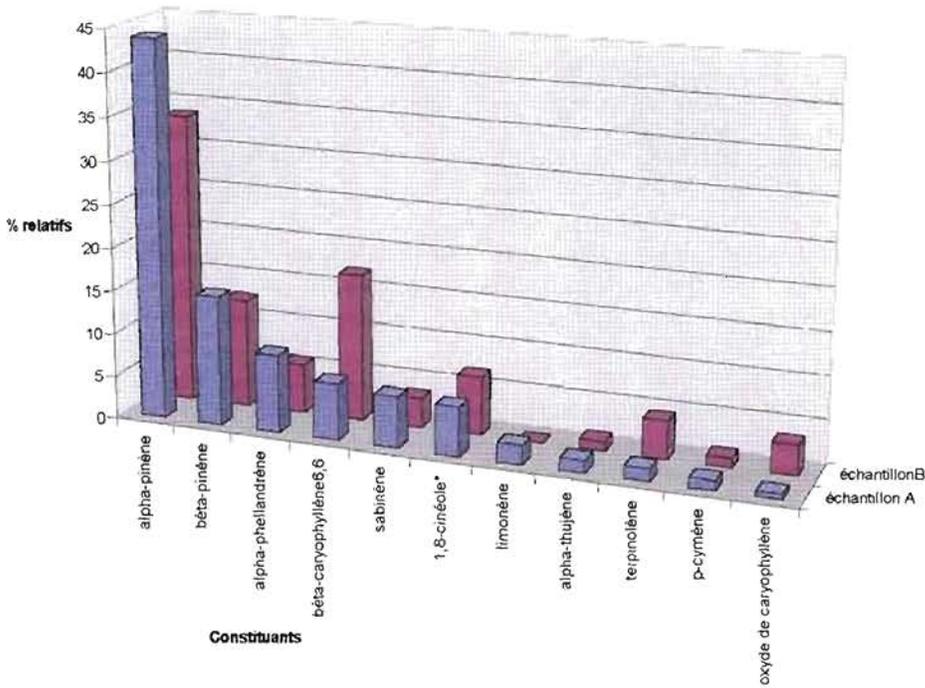


Fig. 24 : Pourcentages relatifs des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Hyptis spicigera* (échantillons A et B)

On observe que lorsque la teneur en β -caryophyllène est faible dans l'huile essentielle d'un échantillon, les teneurs en α et β -pinènes sont relativement élevées et vice-versa. C'est le cas de l'échantillon A où le β -caryophyllène ne représente que 6,6 % de l'huile totale et dans laquelle les teneurs en α -pinène et β -pinène sont élevées (respectivement 43,9 et 15 %). Par contre dans l'essence de l'échantillon B où la teneur en β -caryophyllène est plus élevée (17,1 %), les taux en α et β -pinènes sont relativement plus faibles (respectivement 33,6 et 12,5 %) (figure 24). En outre, l'oxyde de β -caryophyllène, second sesquiterpène principal, au taux de 3,5 % dans l'échantillon B (tableau 3) ne représente que 0,6 % de l'essence A (tableau 2).

Comparées aux essences de *H. spicigera* dont les compositions chimiques ont été rapportées dans la littérature (cf, première partie, Chapitre II, 1.2.2), les compositions chimiques des huiles essentielles des échantillons A et B du Burkina Faso, se révèlent différentes de celle de l'essence de *H. spicigera* du Nigéria^[63] et de celle de l'essence de l'échantillon du Burkina Faso, analysée par KINI et al.^[67]. En effet les huiles essentielles des échantillons A et B sont des essences monoterpéniques, constituées principalement d' α -pinène (43,9 et 33,6 %), de β -pinène (15 et 12,5 %), d' α -phellandréne (9 et 5,7 %), de sabinène (6 et 3,5 %) et de 1,8-cinéole (5,7 % et 6,8* %), alors que l'huile essentielle de *H. spicigera* du Nigéria^[63] et celle de l'échantillon du Burkina Faso, analysée par KINI et al.^[67], sont

des essences sesquiterpéniques, avec un taux élevé en β -caryophyllène (68 et 66 % respectivement). L' α -pinène monoterpène principal dans les huiles essentielles de nos échantillons (A et B), ne représente que 5 % dans l'huile essentielle de l'échantillon du Nigéria et 2 à 5 % dans l'essence de l'échantillon de KINI et al.^[67]. Quant au β -pinène, second produit majoritaire des essences de nos échantillons, il apparaît, mais à un taux très faible, 1,7 % et 1 à 3,2 %, respectivement dans les essences dont les compositions chimiques ont été rapportées par ONAYADE et al.^[63] et KINI et al.^[67].

Par ailleurs, nous n'avons pas identifié, dans les huiles essentielles de nos échantillons des dérivés d'acides gras, signalés dans les essences du Nigéria et du Burkina Faso (cf, première partie, chapitre II, 1.2.2). L'absence de ces composés dans les essences de nos échantillons n'est pas due à une insuffisance de distillation, car dans notre cas comme dans ceux ci-dessus cités, la durée d'extraction est de trois heures.

Cette différence de composition chimique entre les huiles essentielles de nos échantillons et les essences analysées par ONAYADE et al.^[63] d'une part et d'autre par KINI et al.^[67], pourrait s'expliquer par des facteurs génétiques ou du milieu (cf, première partie, chapitre I, 9).

Les activités biologiques des pinènes (α et β -pinènes), notamment leur participation dans le système de défense des plantes^[1] et celles du β -caryophyllène et de l'oxyde de caryophyllène^[133] ont été rapportées. La présence, comme constituants principaux dans l'huile essentielle de *Hyptis spicigera* du Burkina Faso, de ces trois composés pourrait justifier les propriétés insecticides de son huile essentielle, mises en évidence dans nos travaux antérieurs^[26a, 26b] et l'emploi de la plante, dans les systèmes traditionnels de protection des récoltes.

3. *Hyptis suaveolens* Poit.

Nos investigations ont porté sur les essences de trois échantillons A, B, C de *H. suaveolens* récoltés sur des sites périphériques de la ville de Ouagadougou (Cf., partie expérimentale, tableaux 32 et 33). Dans le but de suivre l'évolution du rendement en huile essentielle et les variations des teneurs des constituants de celle-ci, au cours du développement de la plante sur le site de Kossodo, des échantillons ont été récoltés le 21 de chaque mois, de juillet à décembre 96 (Cf., partie expérimentale, tableaux 32 et 33).

Les huiles essentielles ont été obtenues par hydrodistillation, à partir des parties aériennes de la plante, avec les rendements de 0,44 et 0,23 %, respectivement pour les échantillons A et B. Le tableau 4 et la figure 25 donnent les rendements en huile essentielle de l'échantillon C.

Tableau 4 : Rendement en huile essentielle de *Hyptis suaveolens* Poit., en fonction de la période de récolte (échantillon C, période de récolte : juillet à décembre 96).

Période de récolte	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Organe prélevé	a	a	a	a+b+c (floraison)	a+b+c	a+b+c
Rendement en % volume/masse sèche	0,46	0,34	0,28	0,36	0,63	0,88

a : feuilles ; b : tiges ; c : fleurs

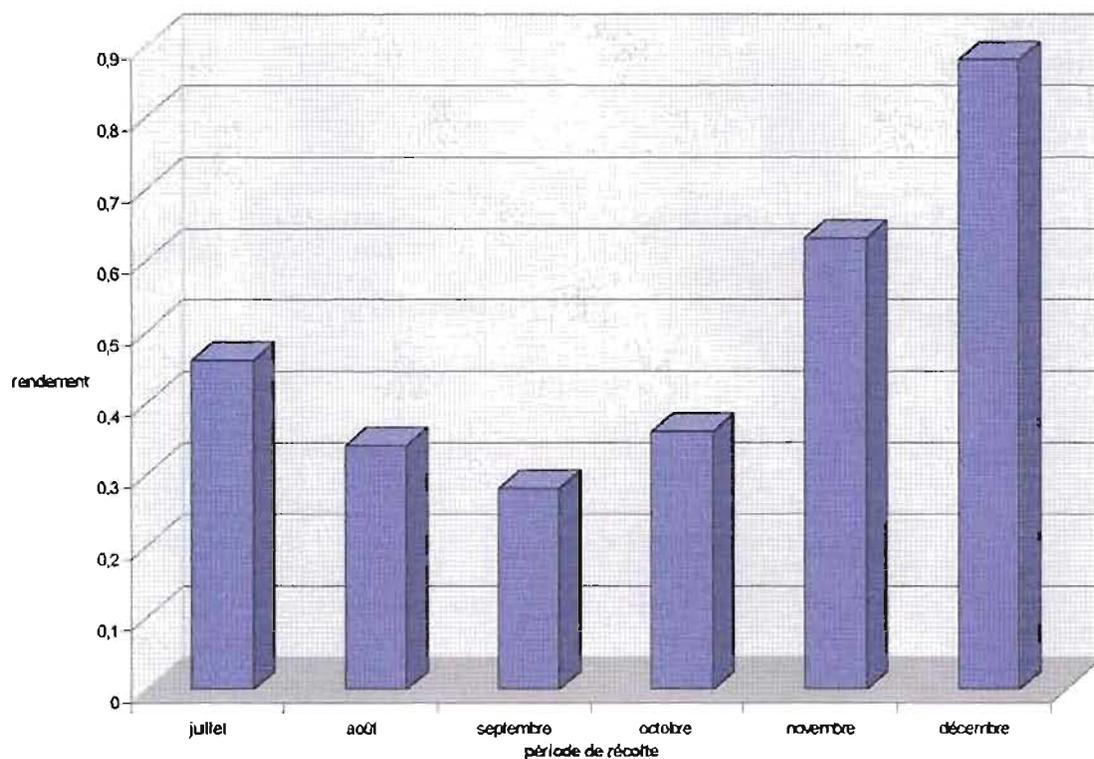


Fig. 25 : Rendement en huile essentielle en fonction de la période de récolte de *Hyptis suaveolens* (échantillon C)

L'examen des tableaux 5 et 6 montre que les huiles essentielles des échantillons A et B, sont constituées d'une importante proportion de composés monoterpéniques, avec comme constituants principaux : sabinène (36 %), terpinolène (7,3 %), β -pinène (5,5 %), terpinèn-4-ol (5,3 %) et le limonène (4,9 %) pour l'échantillon A (tableau 5 et figure 27) ; sabinène (38,9 %), β -pinène (10,2 %), terpinèn-4-ol (9,9 %), p-cymène (4,4 %), terpinolène (4,3 %) et 1,8-cinéole (4 %) pour l'échantillon B (tableau 6 et figures 26 et 27).

Les sesquiterpènes représentent respectivement 26,4 et 16,1 %, respectivement des essences A et B, avec le β -caryophyllène comme constituant principal, au taux respectifs de 16,9 et 8,5 %.

Tableau 5 : Composition chimique de l'huile essentielle de *H. suaveolens* Poit. (échantillon A).

N° constituants*	Indices de rétention DB-1	Pourcentage relatif
1 α -thujène	922	0,9
2 α -pinène	928	2,7
3 sabinène	967	36,0
4 β -pinène	968	5,5
5 myrcène	983	0,5
6 α -terpinène	1004	1,3
7 p-cymène	1007	0,6
8 1,8-cinéole	1014	0,9
9 limonène	1018	4,9
10 γ -terpinène	1048	2,2
11 trans-hydrate de sabinène	1075	0,7
12 terpinolène	1077	7,3
13 cis-hydrate de sabinène	1098	0,3
14 terpinèn-4-ol	1157	5,3
15 α -terpinéol	1166	0,3
16 β -caryophyllène	1403	17,0
17 trans- α -bergamotène	1424	1,6
18 α -caryophyllène	1434	1,0
19 α -sélinène	1465	0,6
20 bicyclogermacrène	1476	1,5
21 spatuléol	1550	0,6
22 oxyde de caryophyllène	1550	1,9
23 bergamotol	1664	1,6
24 sclarène	-	1,6
25 abiétatriène	-	0,5
Total		97,3

* N° des constituants par ordre d'élution sur la colonne DB-1.

Tableau 6 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* Poit. (échantillon B).

N° constituants*	Indices de Rétention OV101	Pourcentage relatif
1 α -thujène	926	1,1
2 α -pinène	934	2,7
3 sabinène	970	38,9
4 β -pinène	975	10,2
5 myrcène	985	0,5
6 δ -3-carène	1006	0,4
7 α -terpinène	1011	0,2
8 p-cymène	1015	4,4
9 1,8-cinéole	1025	4,0
10 γ -terpinène	1053	0,9
11 trans-hydrate de sabinène	1060	1,0
12 terpinolène	1082	4,3
13 linalol	1088	1,2
14 fenchol	1103	0,5
15 thujanol-1	1112	0,6
16 thujanol-2	1130	0,3
17 p-menth-4(8)-èn-9-ol	1133	0,4
18 terpinèn-4-ol	1168	9,9
19 α -terpinéol	1179	0,4
20 NI**	1196	0,2
21 β -caryophyllène	1420	8,5
22 trans- α -bergamotène	1435	1,2
23 α -humulène	1453	0,5
24 α -muurolène	1484	0,4
25 δ -guaïène	1493	0,5
26 spatulénol	1575	0,8
27 oxyde de caryophyllène	1645	1,7
28 NI**	-	0,3
29 bergamotol	1683	0,7
30 abiétadiène-1 (M*** = 272)	2004	1,2
31 abiétatriène (M*** = 270)	2028	1,8
32 abiétadiène-2 (M*** = 272)	2058	0,2
Total		99,9

* N° des constituants par ordre d'élution sur la colonne OV101; ** non identifié ; *** masse molaire

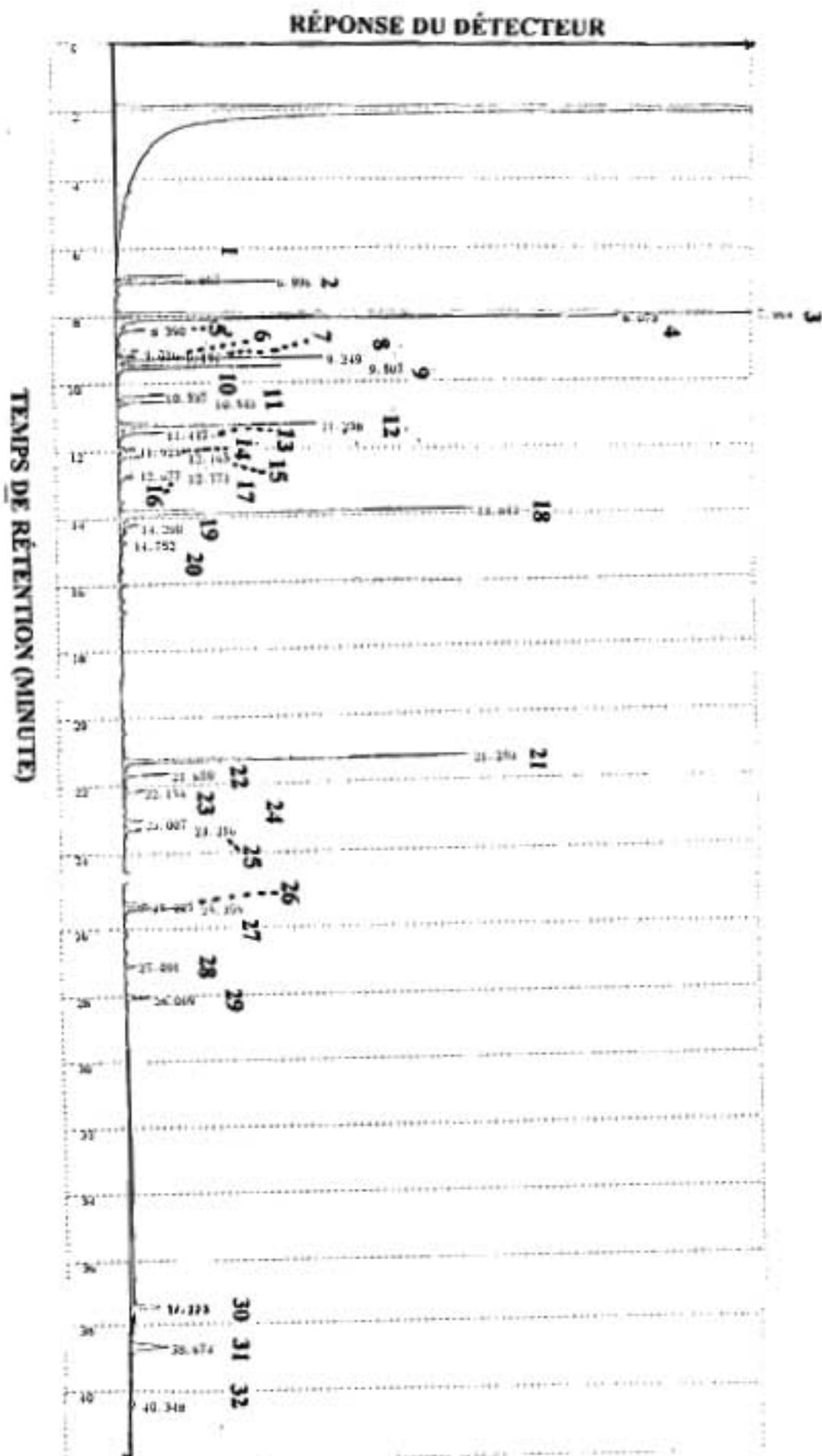


Fig. 26 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *H. suaveolens* Poit.(échantillon B)

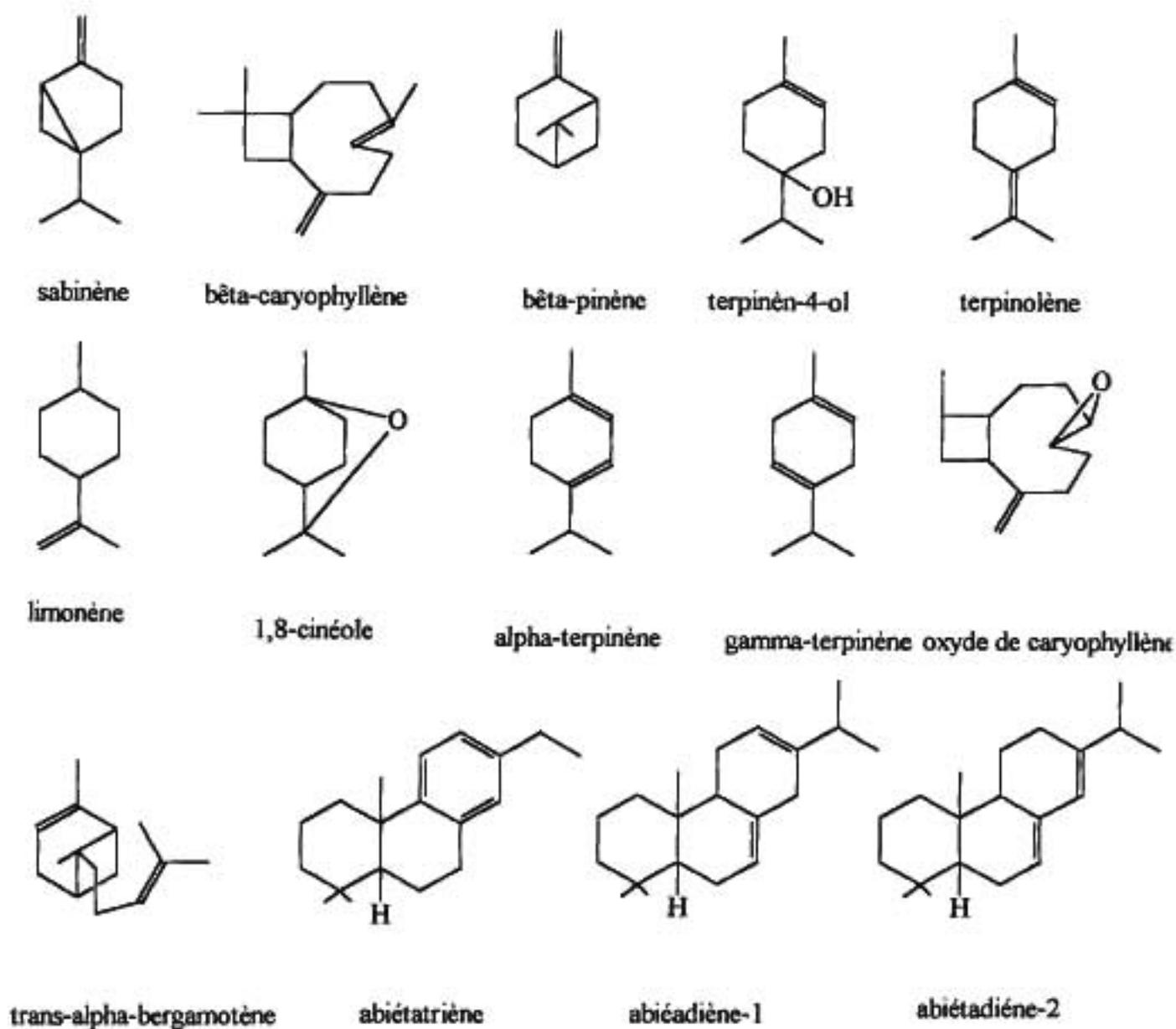


Fig. 27 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* (échantillons A et B)

Les huiles essentielles de l'échantillon C n'ont pas été analysées. Cependant, les résultats consignés dans le tableau 4 et la figure 25, montrent qu'au cours du développement de la plante, le rendement en huile essentielle est fonction de la période de récolte et de l'organe de la plante. Dans le cas *H. suaveolens*, la période favorable se situe après la floraison. Selon PUTIEVSKI et al.^[134], pour certaines espèces de la famille des Lamiaceae, le rendement en huile essentielle est maximal pendant la floraison alors que pour d'autres espèces de la même famille, la floraison a une faible influence sur le rendement en huile essentielle.

En se référant au sabinène seul ou au sabinène et au β -caryophyllène comme constituants principaux, les compositions chimiques des huiles essentielles des échantillons A et B du Burkina Faso se rapprochent de celles des huiles essentielles de *H. suaveolens* de l'Inde^[75, 76] ou de celles du Bénin et du Togo^[83]. En outre, elles diffèrent de celles des essences des échantillons de Bangalore^[77], de Hyderabad^[77] et des Îles Néerlandaises^[81] qui ont le 1,8-cinéole pour constituant principal (cf., première partie, chapitre II, 1.3.2).

PANT et al.^[76] ont signalé la présence de 14 diterpènes, dans l'huile essentielle de *H. suaveolens* de l'Inde, parmi lesquels l'ar-abiétatriène et l'ar-abiétatriénol, qui ont été identifiés et qui représentent respectivement 4,4 et 0,4 % de cette essence. Nous retrouvons le premier composé dans les huiles essentielles des échantillons A et B aux taux respectifs de 0,5 et 1,8 %. Nous avons également identifié les abiétadiènes 1 et 2 dans l'huile essentielle de l'échantillon B. A notre connaissance c'est la première fois que ces deux dipentènes sont identifiés dans l'huile essentielle de *H. suaveolens*.

4. *Ocimum americanum* Linn., syn. *Ocimum canum* Sims

Les huiles essentielles analysées, ont été extraites à partir de matériel végétal récolté à Ouagadougou (échantillons A et C) et à Bobo-Dioulasso (échantillon B). L'échantillon C a été cultivé dans le jardin de l'Institut du Développement Rural (IDR) à Ouagadougou, à partir des graines de l'échantillon A (cf., partie expérimentale, tableau 32). Cette culture nous a permis de disposer d'une quantité suffisante de matériel végétal et en conséquence d'huile essentielle, dont une partie a été fractionnée par distillation sous pression réduite.

Les rendements en huile essentielle, des échantillons A, B et C sont consignés dans le tableau 7. Ils montrent que l'échantillon B récolté à Bobo-Dioulasso est plus riche en huile essentielle (2,2 %) que les échantillons A et C récoltés à Ouagadougou dont les rendements sont respectivement de 1,2 et 1 %.

Tableau 7 : Rendement en Huile Essentielle des Echantillons A, B et C

Echantillons	A	B	C
Rendement en % (volume/ Masse)	1,2	2,2	1,0

À l'examen des résultats de nos analyses, il apparaît que les huiles essentielles des échantillons A, B et C sont en majorité constituées de 1,8-cinéole (60,2; 45,1* et 59,9 %, respectivement pour A, B et C) (tableaux 8, 9 et 10 et figures 28, 29 et 30). Cependant, bien que toutes ces huiles essentielles soient de "type 1,8-cinéole", on peut remarquer que les extraits volatils des échantillons B et C se distinguent de celui de l'échantillon A, par le fait qu'ils contiennent une teneur élevée en camphre, respectivement 18,6 et 8,1 %, composé non identifié dans l'essence de l'échantillon A.

Dans la littérature, certains auteurs se sont préoccupés des facteurs qui influencent la teneur en camphre de *Ocimum canum*. D'après THOMSEN ^[95], un sol volcanique semble favoriser la teneur en camphre de l'huile essentielle de la plante. Selon SENATORE ^[135], la présence ou l'absence de certains constituants dans une plante dépend de l'un ou de la combinaison de trois facteurs, qui sont : le patrimoine génétique, l'âge et l'environnement de la plante. L'échantillon B a été récolté sur un sol alluvionnaire et l'échantillon C cultivé sur un sol enrichi en fumure, à partir des graines de l'échantillon A, dont l'huile essentielle ne contient pas de camphre. Cette teneur relativement élevée en camphre des échantillons B et C, pourrait être liée à des facteurs environnementaux (nature du sol), à l'âge de la plante ou à des facteurs génétiques. Dans le futur, d'autres investigations (analyses de sol) permettront de déterminer l'existence ou la non existence de corrélation entre la composition chimique du sol et la teneur en camphre de la plante.

On peut remarquer, la présence en faible proportion, dans les huiles essentielles des échantillons B et C (tableaux 9 et 10), du δ -terpinéol, des acétates de bornyle et de myrtényle, de l' α -farnésène, du cadalène et du trans-hydrate de sabinène, composés que l'on ne retrouve pas dans l'essence de l'échantillon A (tableau 8).

Par ailleurs, le cis-p-menth-2-èn-ol, le myrténol, le phénylacétate d'éthyle et le nérolidol, identifiés dans l'huile essentielle de l'échantillon A (tableau 8), sont absents dans les essences des échantillons B et C. Ces derniers, bien que récoltés sur des sites différents ont cependant des huiles essentielles qui contiennent les mêmes composés majoritaires et dans des proportions comparables : 1,8-cinéole

*1,8-cinéole + faible quantité de limonène

**Tableau 8 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* Linn.
(échantillon A, Ouagadougou)**

N° constituants*	Indice de rétention DB-1	Pourcentage relatif
1 α -thujène	922	0,1
2 α -pinène	928	2,7
3 camphène	939	<0,1
4 sabinène	964	1,5
5 β -pinène	966	5,7
6 myrcène	983	2,1
7 α -terpinène	1006	0,2
8 1,8-cinéole	1019	60,2
9 limonène	1019	1,9
10 γ -terpinène	1047	0,4
11 cis-p-menth-2-èn-1-ol	1050	1,4
12 terpinolène	1075	0,2
13 linalol	1096	0,9
14 NI**	1141	1,3
15 terpinèn-4-ol	1155	1,3
16 α -terpinéol	1168	6,5
17 myrténol	1172	0,2
18 phénylacétate d'éthyle	1220	0,3
19 NI**	1300	0,7
20 M*** = 212	1313	0,4
21 β -caryophyllène	1400	1,9
22 trans- α -bergamotène	1424	2,8
23 δ -cadinène	1481	2,5
24 nérolidol	1548	0,2
25 NI**	1630	0,6
Total		96,8

* N° des constituants par ordre d'élution sur DB-1 ; ** non identifié ; *** masse molaire

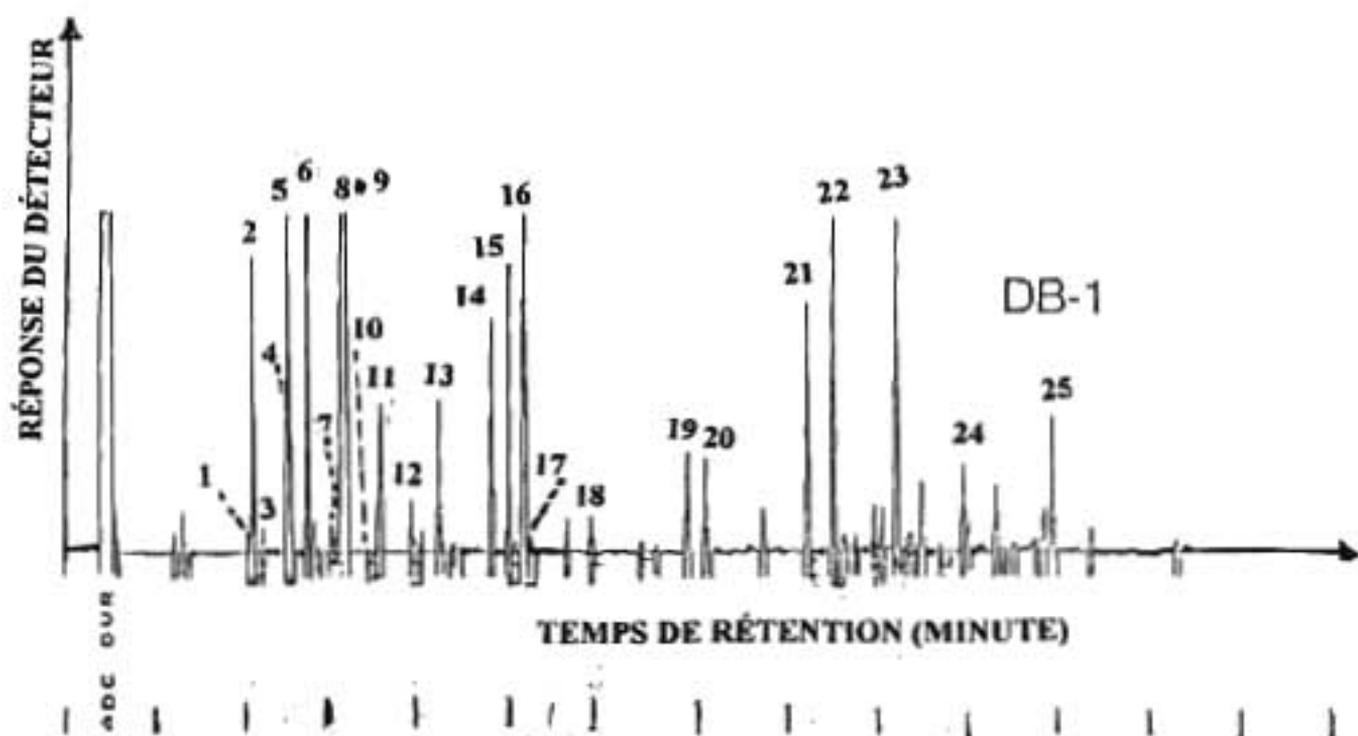


Fig. 28 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* (échantillon A)

**Tableau 9 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* Linn.
(échantillon B, Bobo-Dioulasso)**

N° constituants*	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 α -thujène	6,774	0,1
2 α -pinène	6,972	6,1
3 camphène	7,308	2,7
4 sabinène	7,910	0,8
5 β -pinène	8,033	4,2
6 myrcène	8,370	1,9
7 α -terpinène	9,136	0,3
8 1,8-cinéole + limonène	9,537	45,1
9 γ -terpinène	10,320	0,9
10 trans-hydrate de sabinène	10,540	0,6
11 terpinolène	11,218	0,5
12 linalol	11,727	0,8
13 camphre	12,603	18,6
14 δ -terpinéol	13,434	0,8
15 terpinèn-4-ol	13,835	1,1
16 α -terpinéol	14,215	3,5
17 acétate de bornyle	17,024	2,0
18 acétate de myrtényle	18,111	0,6
19 β -caryophyllène	21,239	1,9
20 trans- α -bergamotène	21,651	2,2
21 α -farnesène	23,004	1,0
22 δ -cadinène	23,864	0,4
23 cadalène	27,441	0,3
Total		96,4

N° constituants par ordre d'élution sur la colonne OV101

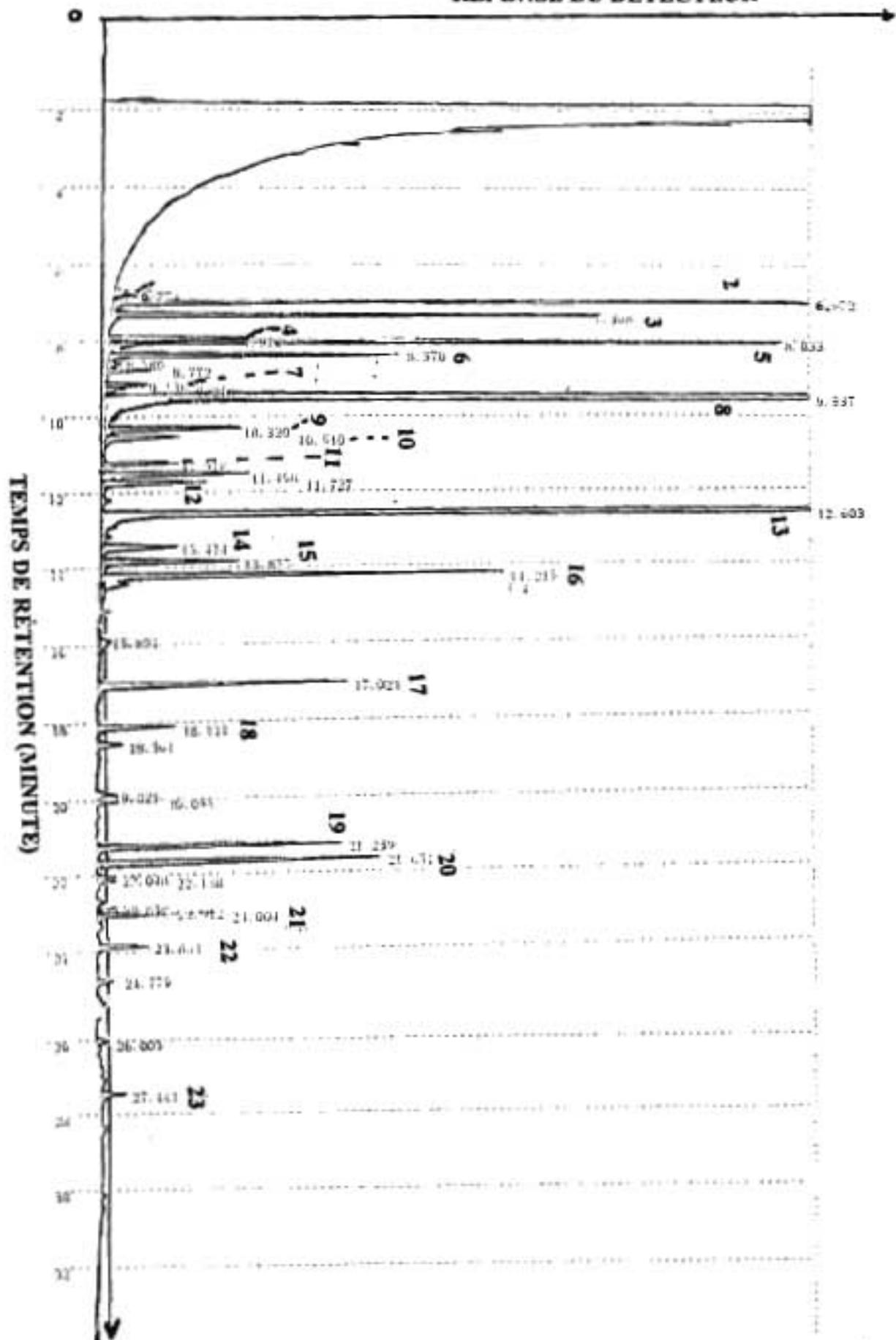


Fig. 29 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* (échantillon B)

**Tableau 10 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* Linn.
(échantillon C, Ouagadougou)**

N° constituants*	Indice de rétention OV101	temps de rétention en mn	pourcentage relatif
1 α -thujène	927	7,115	0,1
2 α -pinène	934	7,305	4,5
3 camphène	947	7,656	1,3
4 sabinène	970	8,280	0,9
5 β -pinène	974	8,398	5,3
6 myrcène	986	8,770	1,7
7 α -terpinène	1013	9,550	0,3
8 limonène	1026	9,910	0,7
9 1,8-cinéole	1026	10,751	59,9
10 γ -terpinène	1054	11,031	0,2
11 trans-hydrate de sabinène	1063	11,664	0,2
12 terpinolène	1083	12,034	0,2
13 linalol	1098	12,177	1,1
14 camphre	1127	13,010	8,1
15 δ -terpinéol	1159	13,985	0,7
16 terpinèn-4-ol	1171	14,359	1,3
17 α -terpinéol	1183	14,771	4,1
18 acétate de bornyle	1274	17,500	1,3
19 acétate de myrtényle	1311	18,626	0,6
20 β -caryophyllène	1420	21,734	1,7
21 trans- α -bergamotène	1435	22,133	2,0
22 α -farnesène	1486	23,529	1,8
23 δ -cadinène	1518	24,376	0,3
24 cadalène	1666	28,080	0,2
Total			98,5

* N° constituants par ordre d'élution sur OV101

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

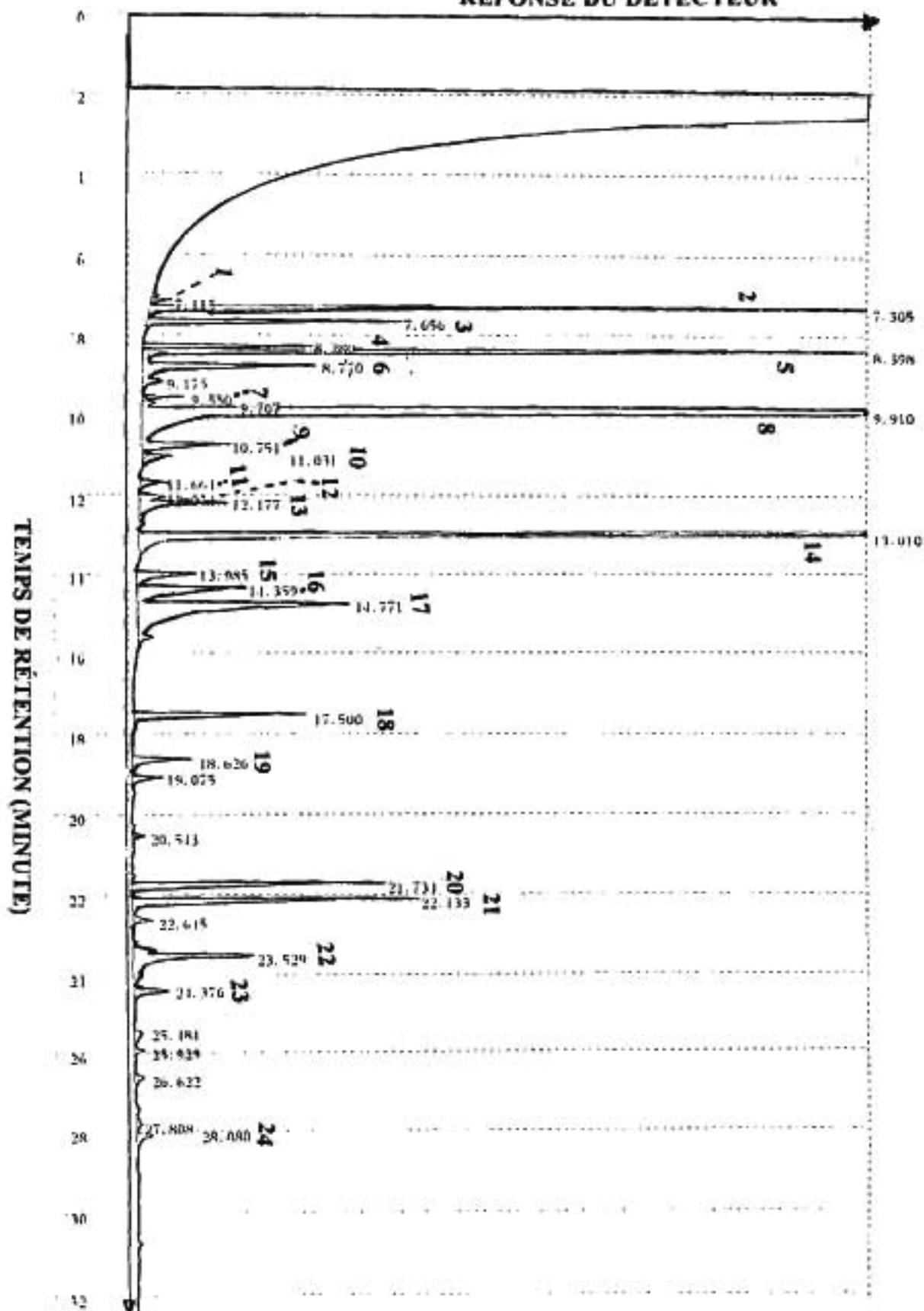


Fig. 30 ; Chromatogramme de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* (échantillon C)

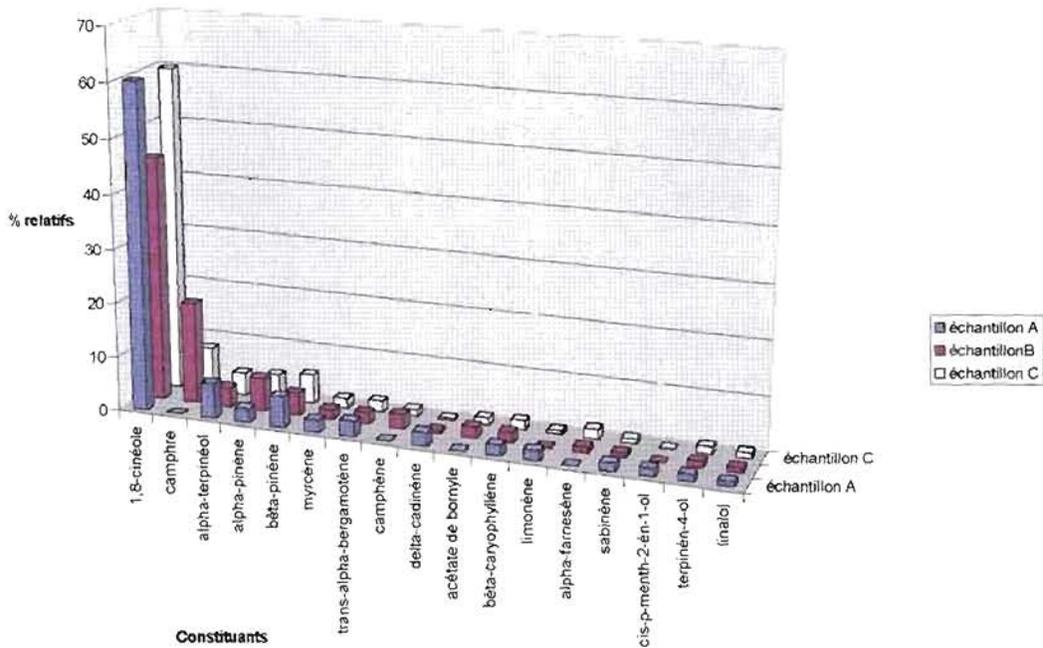


Fig. 31 : Pourcentages relatifs des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Ocimum americanum* (échantillons A, B et C).

(45,1* et 59,9 %), α -pinène (6,1 et 4,5 %), β -pinène (4,2 et 5,3 %), α -terpinéol (3,5 et 4,1 %), trans- α -bergamotène (2,2 et 2 %) et β -caryophyllène (1,9 et 1,7%). En outre, la teneur en camphre, de l'huile essentielle de l'échantillon B (18,6 %) est plus élevée que celle de l'essence de l'échantillon C (8,1 %) (figure 31).

Dans la littérature^[85], on reconnaît aux espèces du genre *Ocimum*, une teneur élevée de leurs huiles essentielles en composés oxygénés et variablement, le cinnamate de méthyle, le linalol, le citral et l'eugénol y ont été signalés comme constituants principaux (cf., première partie, chapitre II, 1.4.2).

Dans chacun des trois échantillons d'huile essentielle, plus de 20 composés ont été identifiés, dont les plus abondants sont des hydrocarbures monoterpéniques oxygénés. Toutefois, nos échantillons ne contiennent ni cinnamate de méthyle, ni citral, ni eugénol. Le linalol est présent, mais à des teneurs très faibles (0,9; 0,8 et 1,1 %, respectivement) dans les huiles essentielles des échantillons A, B et C (tableaux 8, 9 et 10). Celles-ci renferment également des hydrocarbures mono et sesquiterpéniques. Parmi les hydrocarbures monoterpéniques identifiés, le β -pinène (5,7 ; 4,2 et 4,5 %, respectivement pour

*1,8-cinéole + faible quantité de limonène

A, B et C), l' α -pinène (2,7 ; 6,1 et 4,5 %) et le myrcène (2,1 ; 1,9 et 1,7 %) sont les plus abondants, tandis que le trans- α -bergamotène (2,8 ; 2,2 et 2 %), le β -caryophyllène (1,9; 1,9 et 1,7 %) et le δ -cadinène (2,5 ; 0,4 et 0,3 %) apparaissent, comme les hydrocarbures sesquiterpéniques les plus représentatifs (figure 31). La figure 32 représente les principaux constituants identifiés dans les huiles essentielles des échantillons A, B et C.

Notons que, le 1,8-cinéole (Eucalyptol), constituant principal des essences de nos échantillons, est un terpène très répandu et abondant, dans les huiles essentielles de certaines espèces du genre *Eucalyptus* [13, 136, 137].

Les huiles essentielles du genre *Eucalyptus* ou le 1,8-cinéole pur, sont utilisés comme antiseptique, analgésique externe, antitussif et expectorant par inhalation.

Ce composé est également utilisé dans les pâtes dentifrices, dans l'industrie de la parfumerie [13] et comme un décongestionnant nasal des voies respiratoires.

Nous avons procédé au fractionnement, par distillation sous pression réduite, d'une partie de l'huile essentielle de l'échantillon C, dans le but d'obtenir une fraction contenant une teneur élevée en 1,8-cinéole. Nous reportons dans la partie expérimentale les conditions expérimentales de la distillation sous pression réduite.

Au total cinq fractions ont été collectées, chacune ayant une odeur caractéristique ; le tableau 11 donne leurs températures d'ébullition et les quantités obtenues. La fraction 4, en particulier a une odeur très agréable.

Nous avons ensuite procédé à l'étude par spectrométrie dans l'infrarouge (IR) et à l'analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG) de chacune des 5 fractions. Les composés identifiés dans ces fractions sont indiqués dans les tableaux 12 à 16, où les constituants sont donnés, en fonction de leur ordre d'élution sur la colonne apolaire (OV101).

Les figures 33, 35, 37, 39 et 41 représentent les chromatogrammes respectifs des 5 fractions.

À l'examen des résultats des analyses chromatographiques (tableaux 12 à 16), il apparaît que les hydrocarbures monoterpéniques et les hydrocarbures monoterpéniques oxygénés, composés à températures d'ébullition relativement moins élevées, constituent les principaux composants des quatre premières fractions de distillation (Tableaux 12 à 15). Le caractère hydrocarbure saturé des constituants des fractions 1 à 4 est d'ailleurs confirmé par les spectres infrarouges avec l'observation d'une bande intense à 2950 cm^{-1} , caractéristique de la liaison C-H saturé et l'absence de bandes caractéristiques (en dehors de la bande C=O à 1740 cm^{-1}) entre 1600 et 2200 cm^{-1} (figures 34, 36, 38, 40 et tableau 17). En outre, on remarque que les pourcentages en hydrocarbures monoterpéniques (α -et β -pinènes, camphène, sabinène et β -myrcène) diminuent, alors que ceux en monoterpènes oxygénés (1,8-cinéole et camphre) augmentent (tableaux 12 à 15). L'observation en spectrométrie IR de la bande à 1740 cm^{-1}

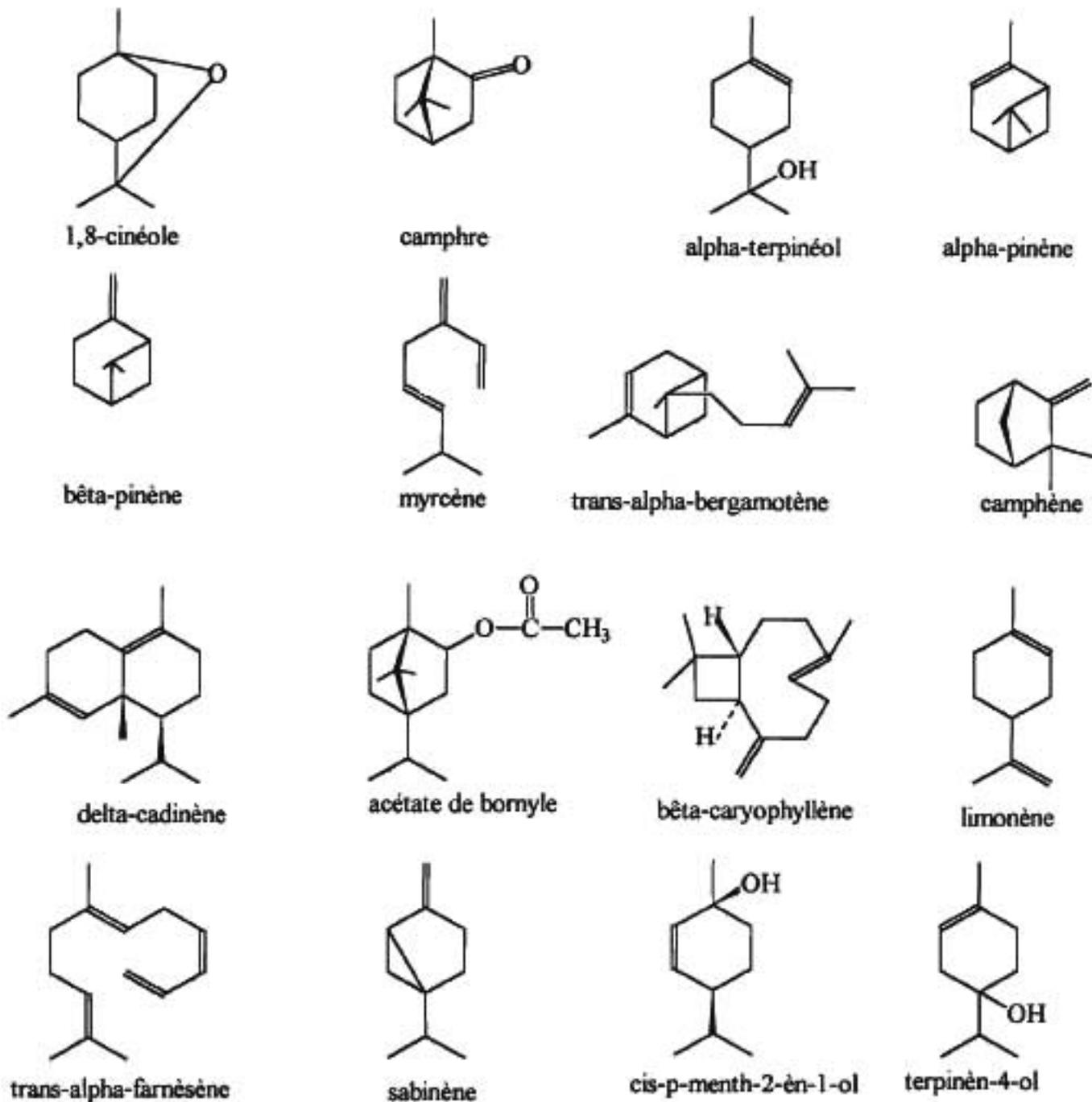


Fig. 32 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Ocimum americanum* (échantillons A, B et C)

(caractéristique de la fonction carbonyle) dont l'intensité augmente de la fraction 1 à la fraction 4 (figures 34, 36, 38, 40 et tableau 17) confirme la présence des composés portant cette fonction (notamment le camphre), ce qui est en parfait accord avec les résultats de la CPG (tableaux 12 à 15). On peut également remarquer que, la teneur en 1,8-cinéole qui était de 59,9 % dans l'huile essentielle totale (échantillon C), passe de 54,3 % dans la fraction 1 à 85,9 % dans la fraction 4.

Par ailleurs, l'analyse chromatographique montre que la fraction 5 (tableau 16 et figure 41) est constituée principalement de composés oxygénés : camphre (22,2 %), de 1,8-cinéole (17,0 %), α -terpinéol (15,3 %), acétate de bornyle (4,6 %), terpinèn-4-ol (4,4 %), δ -terpinéol (2,7 %), linalol (2,6 %) et acétate de myrtényle (2,3 %). Cette fraction contient également des hydrocarbures sesquiterpéniques dont les plus représentatifs sont : le trans- α -bergamotène (8,0%), le β -caryophyllène (6,3 %) et le δ -cadinène (1,2 %). Les données spectrales dans l'infrarouge, issues de la fraction 5 : la bande large à 3450 cm^{-1} , les bandes à 2950 cm^{-1} et à 1740 cm^{-1} sont caractéristiques, respectivement des fonctions alcool, hydrocarbure et carbonyle, ce qui est en accord avec les résultats de la CPG (figures 34, 36, 38, 40 et tableau 17), quant à la présence des composés portant ces fonctions.

La chromatographie successive sur colonne de gel de silice des fractions 4 et 5 a permis l'obtention de deux autres fractions, dans chacune desquelles un produit cristallise sous forme de cristaux blancs. Sur le spectre infrarouge de la fraction obtenue, à partir de la fraction 4 (figure 43), la bande à 1740 cm^{-1} suggère la présence d'une fonction carbonylée. La superposition de son chromatogramme (figure 44) sur celui de l'huile essentielle de l'échantillon C, a permis de l'identifier au camphre. Nous avons obtenu deux fractions riches en camphre, 92 et 88 %, respectivement à partir des fractions 4 et 5 (pureté vérifiée par chromatographie en phase gazeuse). La figure 45 représente le spectre ultra-violet dans l'éthanol de la fraction contenant 92 % de camphre. Nous reportons dans la partie expérimentale les conditions de l'obtention de ces fractions.

Tableau 11 : Quantités et températures d'ébullition des fractions de distillation (P = 630 mbars) (*Ocimum americanum*, échantillon C)

	m (g)	température en °C	couleur
Huile essentielle totale	11,6	-	jaune pâle
Fraction 1	0,1	82	limpide
Fraction 2	1,7	82-84	limpide
Fraction 3	1,0	84-86	limpide
Fraction 4	3,9	90-92	limpide
Fraction 5	4,9	> 92	orange

Tableau 12 : Composition chimique de la fraction 1

N° Constituants *	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 α -thujène	7,128	0,5
2 α -pinène	7,330	21,7
3 camphène	7,671	5,6
4 sabinène	8,293	2,2
5 β -pinène	8,416	12,5
6 β -myrcène	8,782	1,4
7 α -terpinène	9,715	0,3
8 1,8-cinéole + limonène	9,907	54,3
9 terpinolène	11,835	0,3
10 linalol	12,237	0,1
11 camphre	13,038	0,7
Total		99,5

* N° constituants par ordre d'élution sur la colonne 0V101

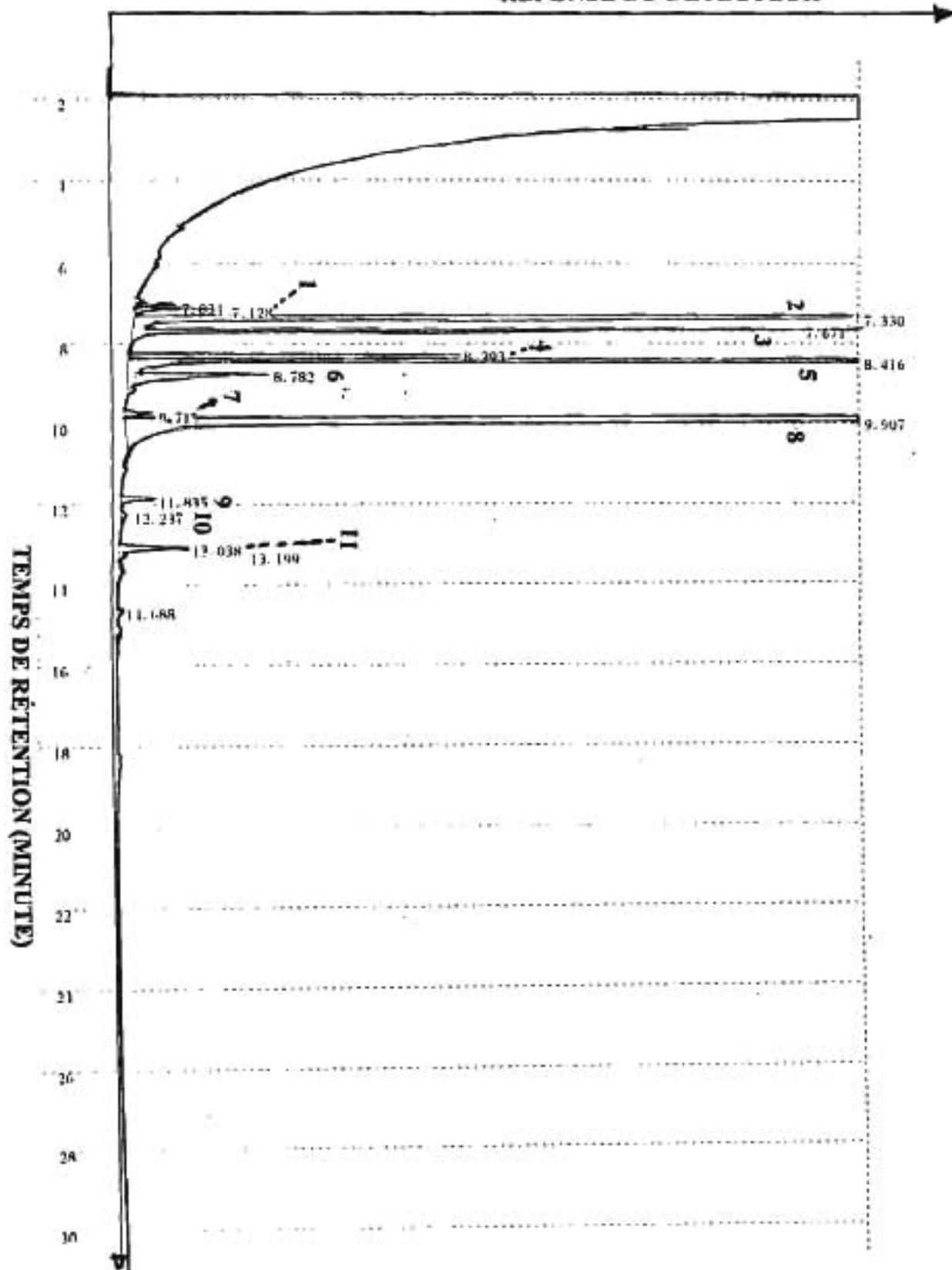


Fig. 33 : Chromatogramme de la fraction 1

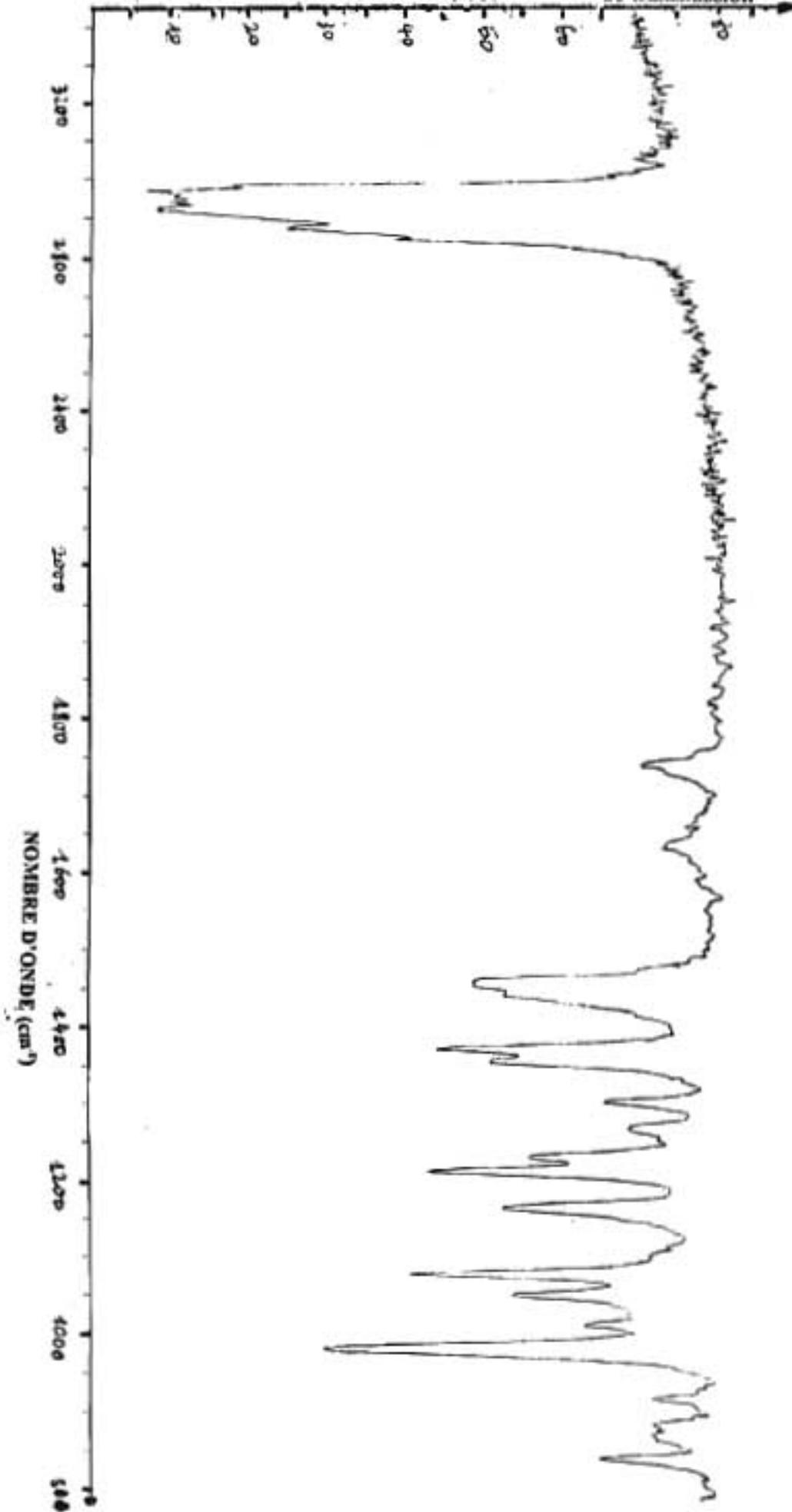


Fig. 34 : Spectre IR de la fraction 1

Tableau 13 : Composition chimique de la fraction 2

N° Constituants *	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 α -thujène	7,13	0,3
2 α -pinène	7,327	14,9
3 camphène	7,673	4,2
4 sabinène	8,297	2,1
5 β -pinène	8,419	12,3
6 myrcène	9,78	2,7
7 α -terpinène	9,72	0,3
8 1,8-cinéole + limonène	9,92	62,3
9 camphre	13,042	0,8
Total		99,9

* N° constituants par ordre d'élution sur la colonne 0V101

Tableau 14 : Composition chimique de la fraction 3

N° constituants*	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 α -thujène	7,125	0,1
2 α -pinène	7,318	6,3
3 camphène	7,669	2,2
4 sabinène	8,291	1,7
5 β -pinène	8,411	9,8
6 myrcène	8,776	2,5
7 α -terpinène	9,703	0,5
8 1,8-cinéole + limonène	9,902	74,4
9 camphre	13,023	1,2
Total		98,7

* N° constituants par ordre d'élution sur la colonne 0V101

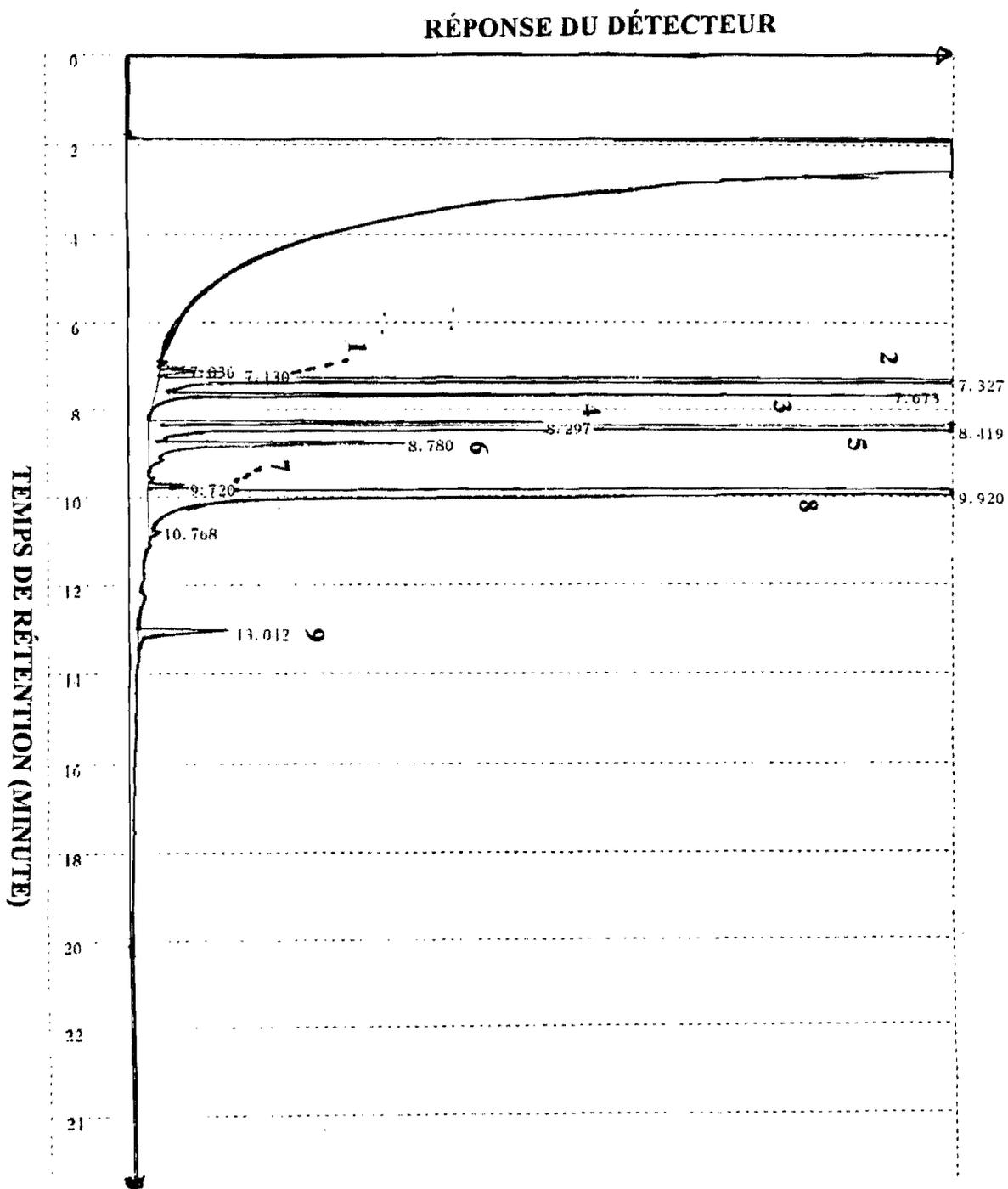


Fig. 35 : Chromatogramme de la fraction 2

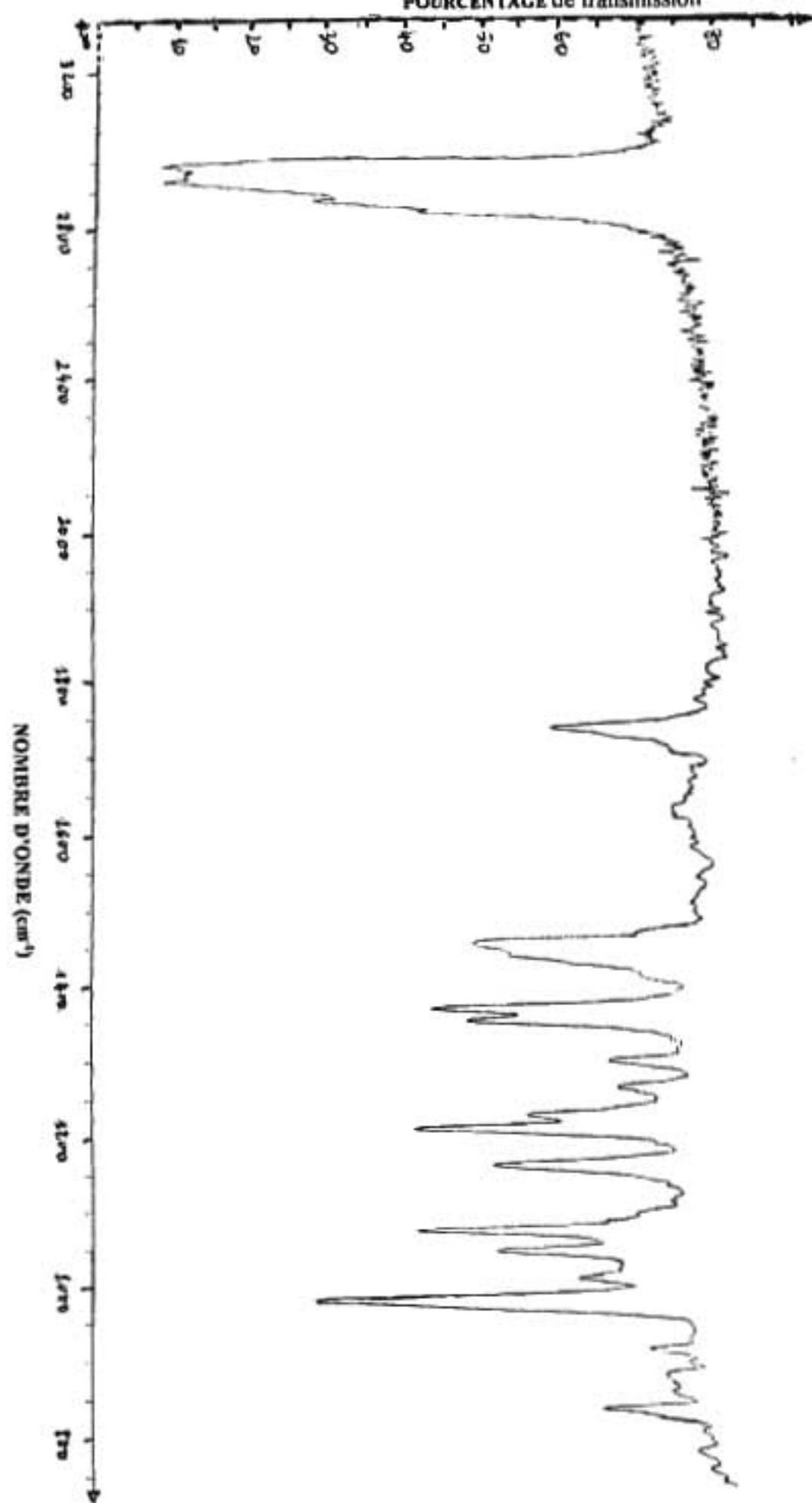


Fig. 36 : Spectre IR de la fraction 2

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

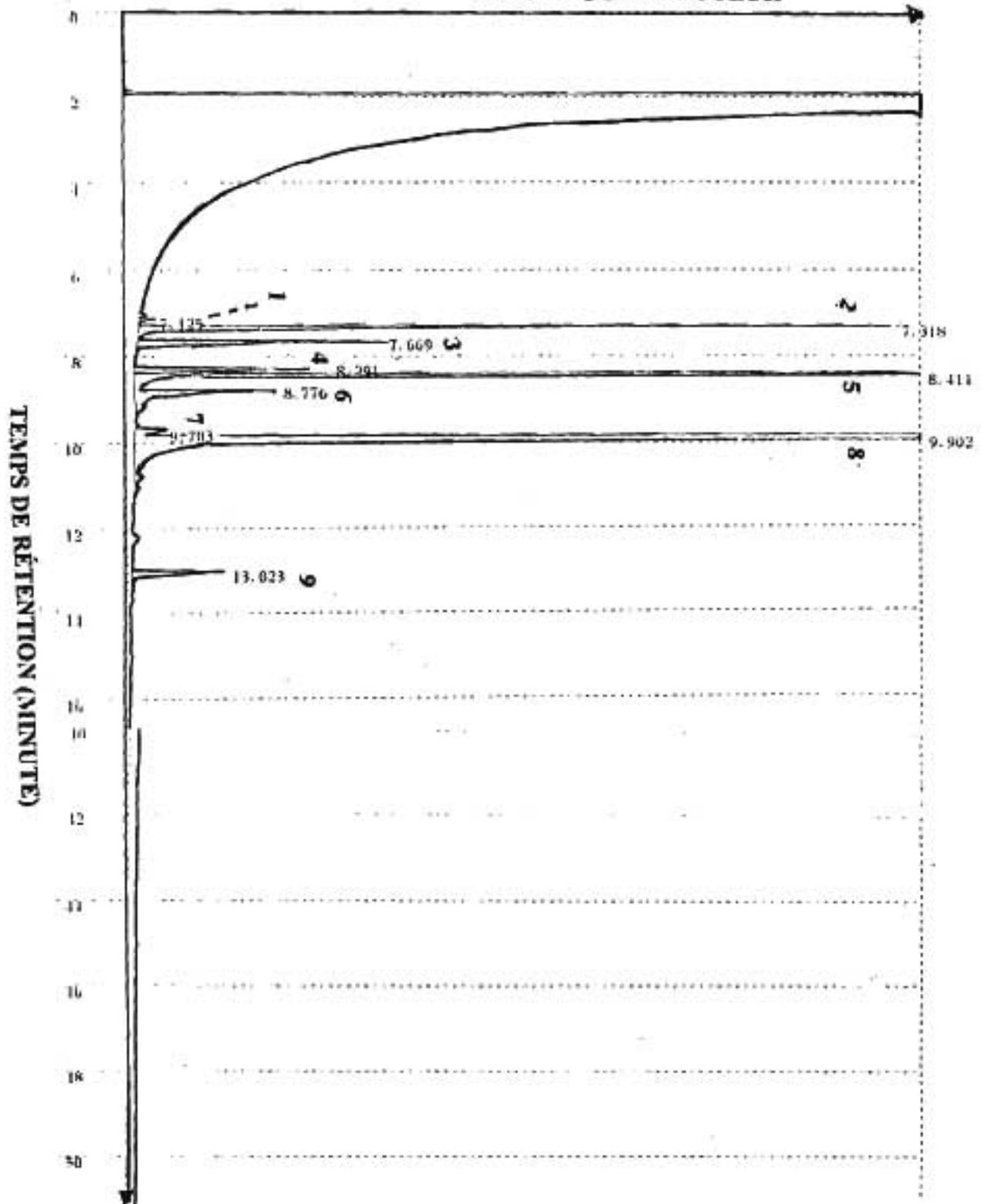


Fig. 37 : Chromatogramme de la fraction 3

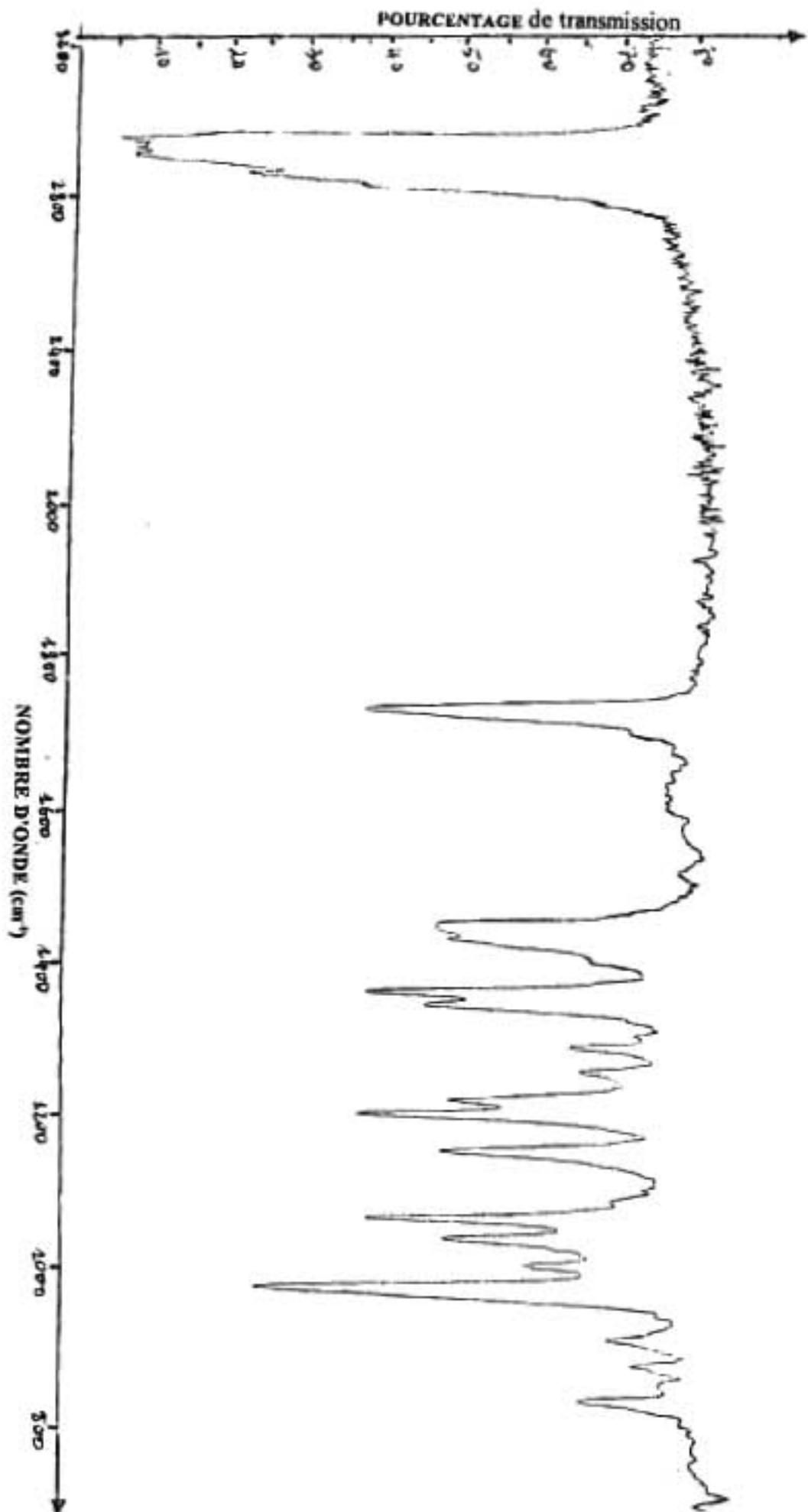


Fig. 38 : Spectre IR de la fraction 3

Tableau 15 : Composition chimique de la fraction 4

N° constituants*	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 α -pinène	7,319	1,2
2 camphène	7,672	0,5
3 sabinène	8,297	0,8
4 β -pinène	8,415	4,3
5 myrcène	8,780	2,2
6 α -terpinène	9,570	0,1
7 NI**	9,723	0,8
8 1,8-cinéole + limonène	9,956	85,9
9 γ -terpinène	10,767	0,2
10 trans-hydrate de sabinène	11,042	0,1
11 terpinolène	11,687	0,1
12 linalol	12,917	0,5
13 camphre	13,022	2,9
14 terpinèn-4-ol	14,432	0,1
15 α -terpinéol	14,917	0,1
16 acétate de bornyle	17,515	0,1
Total		99,1

* N° des constituants par ordre d'élution sur la colonne OV101

** non identifié

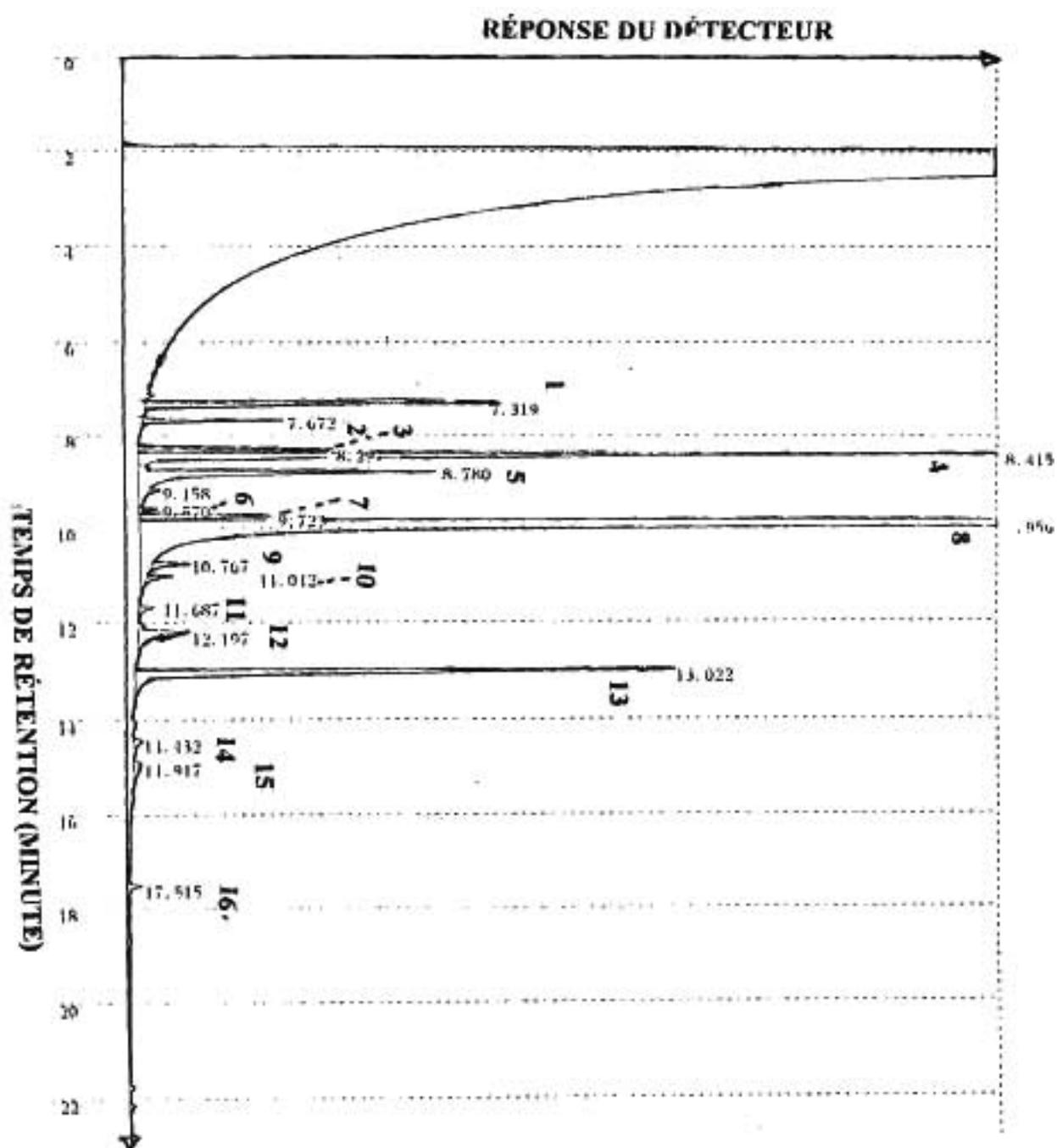


Figure 39 : Chromatogramme de la fraction 4

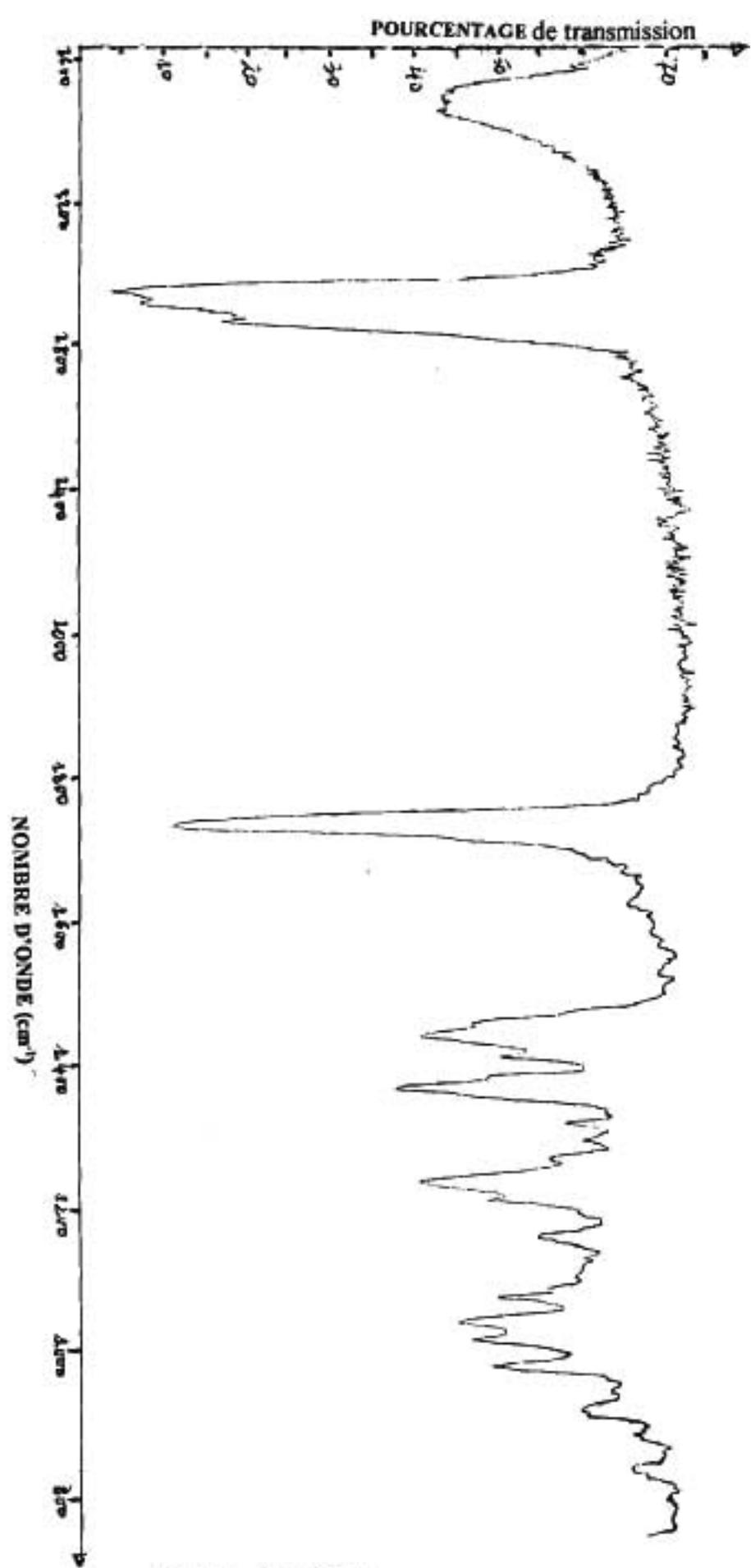


Fig. 40 : Spectre IR de la fraction 4

Tableau 16 : Composition chimique de la fraction 5 "queue de distillation"

N° Constituants*	Temps de rétention en mn	Pourcentage relatif
1 1,8-cinéole + limonène	9,867	17,0
2 γ -terpinène	10,773	0,5
3 trans-hydrate de sabinène	11,034	0,5
4 terpinolène	11,692	0,3
5 linalol	12,180	2,6
6 camphre	13,023	22,2
7 δ -terpinéol	13,963	2,7
8 terpinèn-4-ol	14,347	4,4
9 α -terpinéol	14,741	15,3
10 acétate de bornyle	17,506	4,6
11 acétate de myrtényle	18,619	2,3
12 NI**	19,070	1,1
13 β -caryophyllène	21,744	6,3
14 trans- α -bergamotène	22,141	8,0
15 α -farnesène	23,116	0,7
16 δ -cadinène	24,377	1,2
17 cadalène	28,032	0,8
Total		90,5

* N° des constituants par ordre d'éluion sur la colonne OV 101

** non identifié

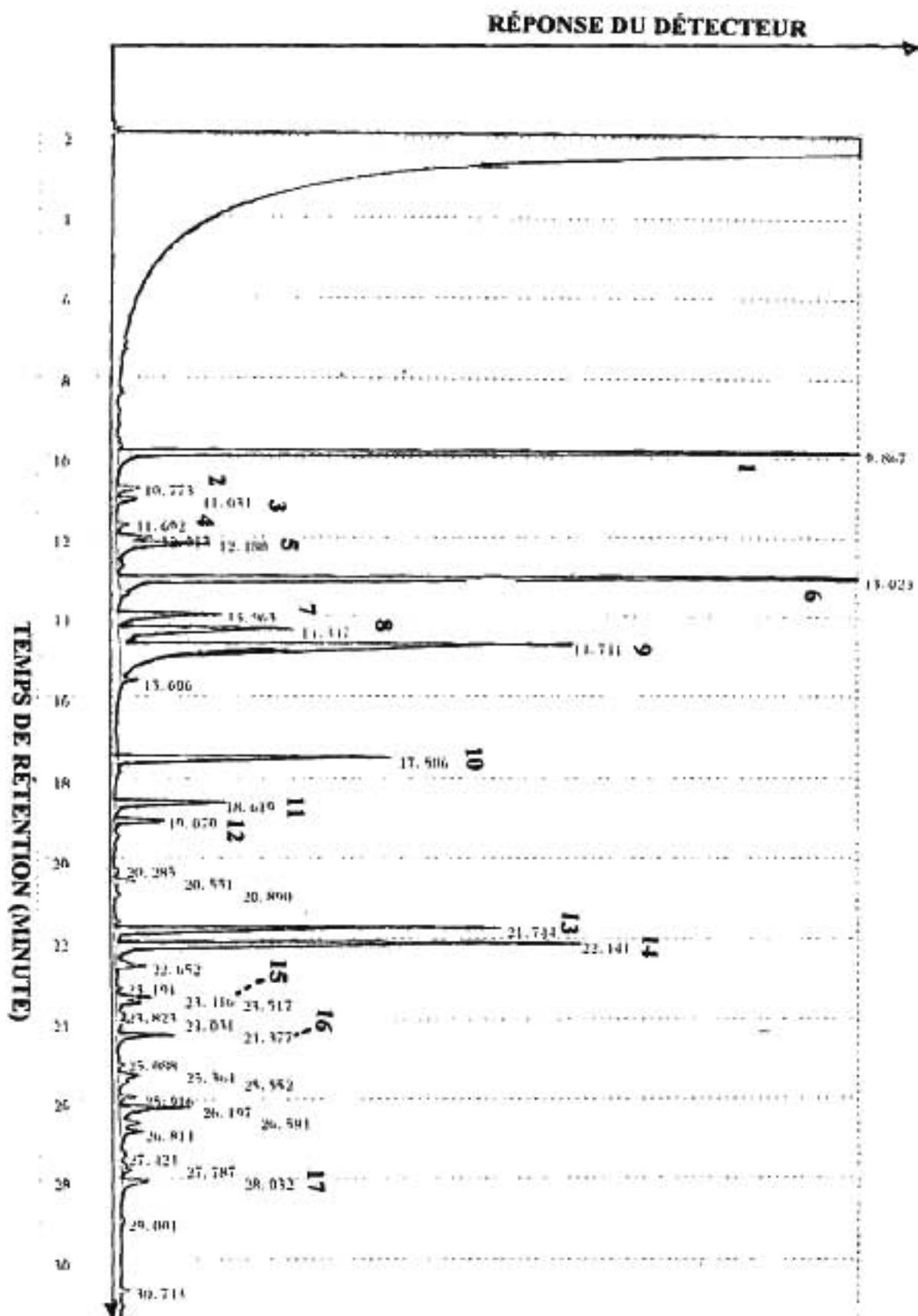


Figure 41 : Chromatogramme de la fraction 5

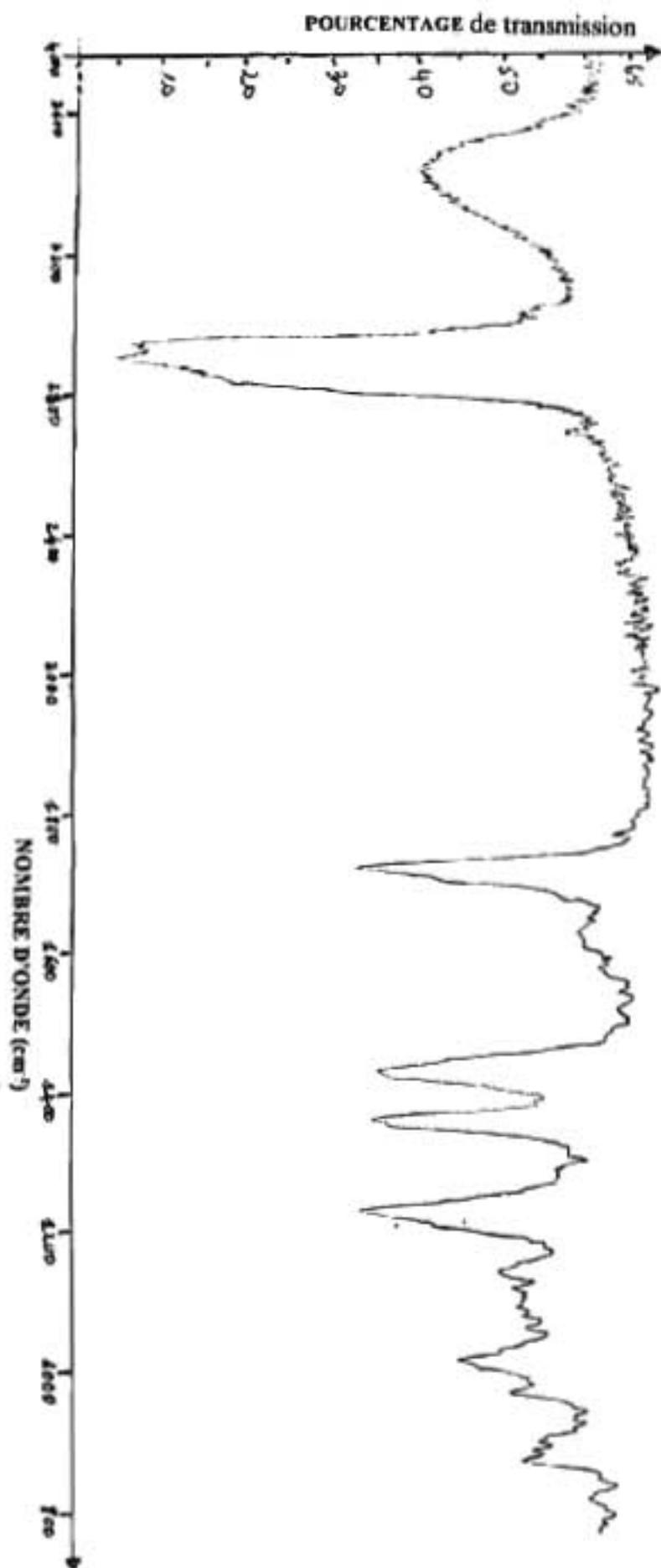


Fig. 42 : Spectre IR de la fraction 5

Tableau 17 : Données spectrales dans l' IR des constituants des 5 fractions de distillation

Fractions	Nombres d'onde d'absorption (σ en cm^{-1})														
	Nombres d'onde d'absorption (σ en cm^{-1})					Nombres d'onde d'absorption (σ en cm^{-1})									
1	-	-	2950	1740	1460	-	-	1370	1355	-	1210	1160	1075	1050	980
2	-	-	2950	1740	1460	-	-	1370	1355	-	1210	1160	1075	1050	980
3	-	-	2950	1740	-	1455	-	1370	-	-	-	-	-	1050	980
4	3500	-	2950	1740	-	-	1440	1370	-	1240	-	-	-	1050	980
5	-	3400	2950	1740	-	-	1440	1370	-	1240	-	-	-	1049	-

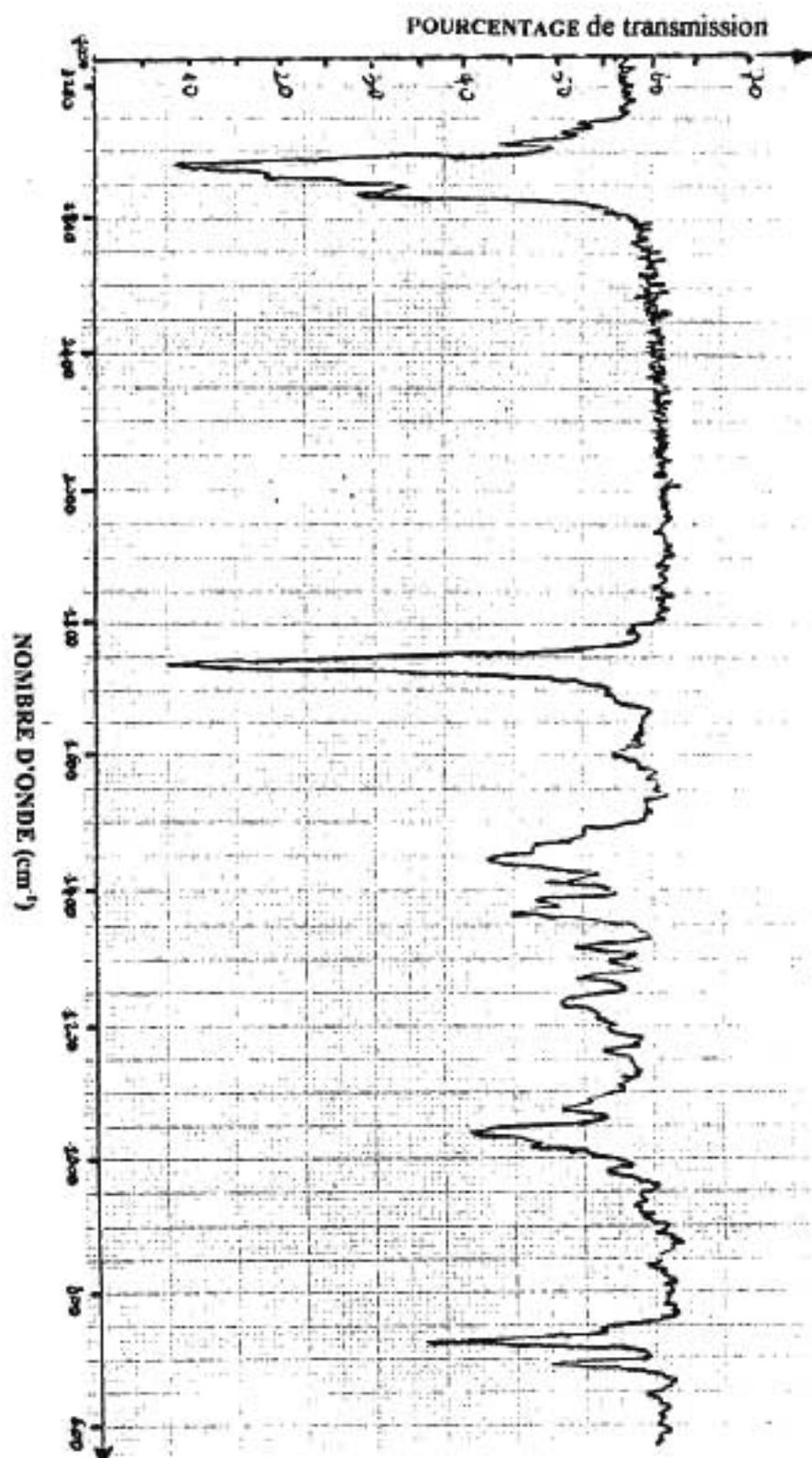


Fig. 43 : Spectre infrarouge de la fraction contenant 92 % de camphre

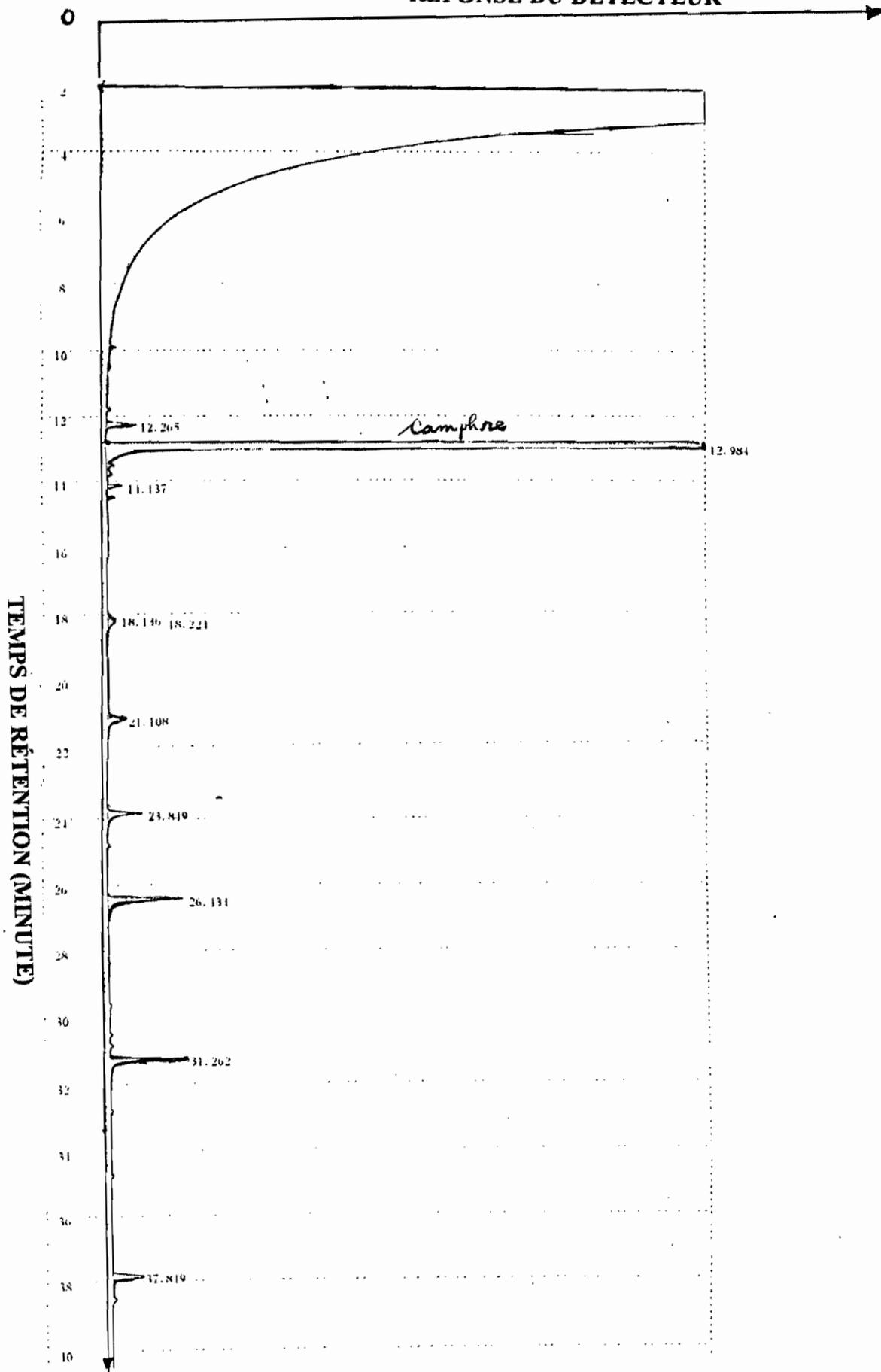


Fig. 44: Chromatogramme de la fraction contenant 92 % de camphre

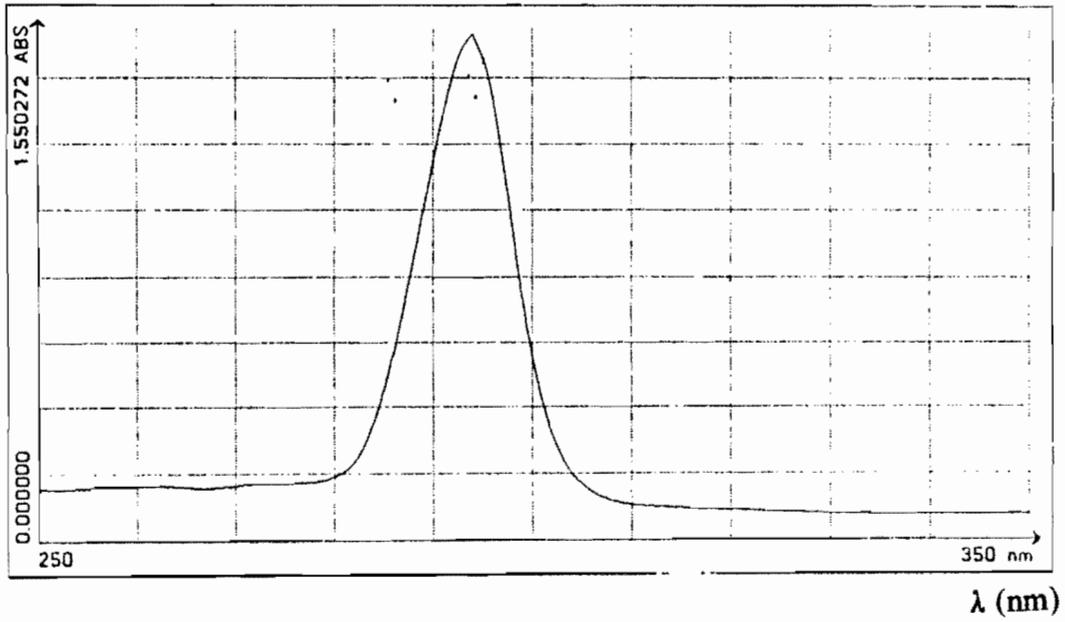


Fig. 45 : Spectre UV de la fraction contenant 92 % de camphre en solution dans l'éthanol

NTEZURUBANZA et al. ^[138] ont rapporté le 1,8-cinéole comme constituant principal de l'huile essentielle de *Ocimum kilimandscharicum* du Rwanda, mais il ressort d'une comparaison avec les résultats des différentes études menées sur *Ocimum americanum* ^[92-96], que c'est la première fois, à notre connaissance que nous identifions le 1,8-cinéole et le camphre comme constituants principaux de l'huile essentielle de *Ocimum americanum*.

Selon BONNER ^[20], le 1,8-cinéole serait biosynthétisé à partir du cation terpinyle dans les Asteraceae, de l' α -pinène dans les Verbenaceae et de l' α -terpinéol dans les Lamiaceae, les Lauraceae et les Myrtaceae. Des propriétés répulsives ont également été attribuées à des parties ou extraits de plantes présentant une teneur élevée en 1,8-cinéole. C'est le cas des huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. (30 à 50 % de 1,8-cinéole) ^[139], du Cajepulier (50 à 65 % de 1,8-cinéole) ^[140], de *Lavandula latifolia* Vill. (40 à 60 % de 1,8-cinéole) et de *Rosmarinus officinalis* L. (47 % de 1,8-cinéole) ^[141]. C'est également le cas des huiles essentielles de certaines espèces végétales, appartenant aux familles des Asteraceae, Magnoliaceae, Rutaceae et des sécrétions défensives de certains arthropodes ^[141]. Par exemple KLOCKE et al. ^[141] l'ont signalé, comme constituant principal de l'huile essentielle d'une Asteraceae (*Hemizonia fitchii*) et ont rapporté ses propriétés d'agent antiappétant et d'agent inhibiteur de la ponte des moustiques (*Aedes aegypti*).

Selon CRIBB et al. ^[142], en Australie et dans d'autres parties du monde, les huiles essentielles d'Eucalyptus, qui ont une teneur élevée en 1,8-cinéole, jouissent d'une réputation d'agent insectifuge et insecticide et sont utilisées dans la fabrication d'anti-moustiques. HMAMOUCHE et al ^[136] ont mis en évidence les activités antimicrobiennes, antifongiques et antiparasitaires des huiles essentielles de 45 espèces du genre *Eucalyptus* ayant le 1,8-cinéole comme constituant principal.

Des travaux ^[143,144] ont montré que certains microorganismes sont capables de réaliser sa bioconversion en synthons chiraux, utilisables dans la synthèse de produits pharmaceutiques.

Le 1,8-cinéole a une odeur de camphre et des extraits volatils contenant une quantité appréciable de ce composé (huile essentielle d'*Eucalyptus*, de cajepulier) sont utilisés en usage externe comme antiseptiques ^[142].

Le mode d'action des antimoustiques a été rapporté d'une part par WRIGHT ^[145] et DETHIER ^[146] et d'autre part, par RODRIGUEZ ^[140]. KLOCKE et al. ^[141] pensent que le mode d'action du 1,8-cinéole est semblable à celui du camphre, composé dont la dose létale 50 est de 3000 mg/kg pour la souris, par voie intrapéritonéale ^[147].

La présence dans l'huile essentielle de *Ocimum americanum* du Burkina Faso, du 1,8-cinéole seul ou des deux composés (1,8-cinéole et camphre) pourrait donc expliquer ses propriétés insectifuges ou insecticides et justifier l'utilisation de cette plante dans les systèmes traditionnels de conservation des

récoltes et dans les pharmacopées traditionnelles.

5. Conclusion

Les deux échantillons d'huile essentielle de *Hyptis spicigera* du Burkina Faso, que nous avons analysés, contiennent une forte proportion de composés monoterpéniques, parmi lesquels les pinènes (α et β -pinène) sont majoritaires. Le β -caryophyllène sesquiterpène principal ne représente que 17,1 % et 6,6 %, respectivement des essences des échantillons A et B. La même espèce végétale récoltée au Nigeria ^[63] et au Burkina Faso ^[67] avait fourni une huile essentielle sesquiterpénique, principalement composée de β -caryophyllène (68 et 66 %, respectivement). Les résultats de cette étude confirment donc le fait que pour une même espèce végétale, la composition chimique varie qualitativement et / ou quantitativement dans un même pays ou d'un pays à l'autre. Ils montrent également l'existence au Burkina Faso, d'un chimiotype de *Hyptis spicigera* à pinènes (α et β -pinène).

De l'étude bibliographique, il ressort que la composition chimique de l'huile essentielle de *H. suaveolens* est très variable suivant l'origine de la plante. C'est ainsi que l'existence des chimiotypes à sabinène ^[75, 76], à 1,8-cinéole ^[77, 81] et à β -caryophyllène ^[83] a été rapportée. Toutefois l'identification du sabinène comme composé principal des huiles essentielles des échantillons A et B de *H. suaveolens* du Burkina Faso, confirme les résultats obtenus par certains auteurs ^[75, 76] pour la même espèce.

En outre cette étude nous a permis d'identifier les abiétadiènes 1 et 2, pour la première fois dans l'huile essentielle de *H. suaveolens*.

Ocimum americanum du Burkina Faso contient une essence dont le constituant majoritaire est le 1,8-cinéole et peut être une source naturelle de ce produit, mais les normes internationales exigent une teneur en constituant principal d'au moins 70 %, pour la commercialisation d'une huile essentielle. On remarque une variation de la teneur en camphre, phénomène qui pourrait être lié à des facteurs environnementaux et /ou génétiques. L'étude de cette plante, nous a permis d'identifier pour la première fois le 1,8-cinéole et camphre comme constituants principaux dans son huile essentielle. La présence de ces deux composés peut expliquer les propriétés insecticides de l'huile essentielle de cette plante. Le rendement en huile essentielle varie de 1 à 2,2 %, une production industrielle de celle-ci passe nécessairement par une culture à grande échelle de la biomasse végétale.

CHAPITRE 2 : Extraction et Analyse des huiles essentielles des trois espèces végétales de la famille des Poaceae

1. INTRODUCTION

Dans la famille des Poaceae, nous nous sommes intéressés à *Cymbopogon schoenanthus*, en raison, d'une part, de son abondance au Burkina Faso et, d'autre part, de sa richesse en huile essentielle. En effet, dans une étude préliminaire, nous avons extrait (avec un rendement de 0,5 à 4 %) et analysé les huiles essentielles des feuilles et des inflorescences de la plante sèche ^[144]. Dans cette étude, nous envisageons, au cours du développement de la plante, d'étudier l'évolution des rendements en huile essentielle et les compositions chimiques des essences de deux échantillons récoltés sur deux sites de la périphérie de Ouagadougou.

Deux objectifs y sont visés :

- 1) déterminer la période optimale de récolte et l'organe le plus riche en huile essentielle ;
- 2) comparer en fonction de la période de récolte, les compositions chimiques des huiles essentielles des différents organes des deux échantillons, puis suivre l'évolution des constituants majoritaires au cours de son développement.

À cet effet, nous avons analysé les huiles essentielles des feuilles, des tiges et des inflorescences, obtenues à partir des deux échantillons, récoltés respectivement à Dassasgho et à Kossodo. Dans le but de vérifier l'existence de chimiotype, nous avons également analysé l'huile essentielle d'un autre échantillon récolté à Bondukuy (cf., partie expérimentale, tableau 32). A titre comparatif nous avons aussi analysé les huiles essentielles de deux autres espèces de la famille des Poaceae : *Cymbopogon giganteus* Chiov. et *Cymbopogon citratus* (D. C. ex. Nees.).

2. *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng

Nous avons procédé à l'extraction des huiles essentielles des échantillons A, B, C, D et E de *Cymbopogon schoenanthus*. Les échantillons A, B et C d'une part et l'échantillon D, d'autre part, ont été récoltés, respectivement à Dassasgho et à Kossodo, deux sites situés à la périphérie de la ville de Ouagadougou. L'échantillon A est constitué des feuilles et l'échantillon B des inflorescences de la plante sèche. Les échantillons C et D constitués des parties aériennes, ont été récoltés aux mêmes dates, respectivement à Dassasgho et à Kossodo, au cours du développement de la plante, pour la période s'étendant de juillet à novembre 1996 (cf., partie expérimentale, tableaux 32 et 33). Les différents

organes ont été ensuite séparés, avant extraction. L'échantillon E, constitué des feuilles et des tiges a été récolté à Bondukuy (cf., partie expérimentale, tableau 32).

L'hydrodistillation des feuilles, des tiges ou des inflorescences de *C. schoenanthus* fournit une essence de couleur jaune pâle. Les rendements en huile essentielle des échantillons A, B et E sont consignés dans le tableau 18. Les tableaux 19 et 20 donnent les rendements en huile essentielle, respectivement des échantillons C et D.

À l'examen des tableaux 18, 19 et 20, il apparaît que le rendement en huile essentielle est variable selon l'échantillon. En effet, l'échantillon C se révèle plus riche en huile essentielle que respectivement les échantillons E, A, D et B.

Pour un échantillon donné, il varie en fonction des organes de la plante. En effet, dans l'échantillon C, les teneurs en huile essentielle varient de 4 à 6,82 % dans les feuilles, de 0,90 à 1,26 % dans les tiges et de 2,75 à 6,30 % dans les inflorescences (tableau 19), alors que dans l'échantillon D, les rendements en huile essentielle sont de 2,98 à 4 % dans les feuilles, de 0,23 à 0,28 % dans les tiges et 1,40 à 2,66 % dans les inflorescences (tableau 20). Ces résultats montrent que les organes de l'échantillon C sont plus riches en huile essentielle que ceux de l'échantillon D dont le cycle végétatif est pourtant très exubérant. Ils mettent aussi en évidence l'influence de la période de récolte et des facteurs du milieu (nature du sol, bilan hydrique et compétition spatiale avec d'autres espèces végétales) sur le rendement en huile essentielle de la plante. Selon CHAMOULEAU ^[169], c'est sur les sols arides calcaires où granitiques à faible couche d'humus, riches en sels minéraux que croissent les plantes riches en huile essentielle. D'après cet auteur, à l'inverse des sols granitiques, les sols limoneux favorisent

Tableau 18 : Rendement en huile essentielle des échantillons A, B et E, de *Cymbopogon schoenanthus*

Echantillons	A	B	E
organe prélevé	a	c	a+b
Rendement en %(volume/masse)	4,00	0,50	4,80

a : feuilles ; b : tiges ; c : inflorescences

Tableau 19 : Evolution du rendement en huile essentielle en fonction de la période de récolte : juillet à décembre 1996 (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon C, Dassasgho)

Période de récolte	juillet	août	septembre			octobre			novembre			décembre		
Organe prélevé	a	a	a+b+c	a+c	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Rendement en % (volume / masse)	6,55	6,82	4,55	4,53	6,30	5,63	1,03	2,53	5,66	1,26	3,37	4,00	0,90	2,75

a : feuilles ; b : tiges ; c : inflorescences

92

Tableau 20 : Evolution du rendement en huile essentielle en fonction de la période de récolte : juillet à décembre 1996 (*Cymbopogon schoenanthus* échantillon D, Kossodo)

période de récolte	juillet	août	septembre			octobre			novembre			décembre		
Organe prélevé	a	a	a+b+c	a+c	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Rendement en % (volume / masse)	2,98	4,00	2,10	2,20	2,66	3,40	0,23	1,90	3,50	0,28	1,40	3,10	0,23	1,53

a: feuilles b: tiges c: inflorescences

une exubérance des plantes au dépens de la biosynthèse des principes actifs. Notons que l'échantillon C, a été récolté sur un site qui retient moins d'eau (car en pente), où ne poussent pratiquement d'autres espèces que *Cymbopogon schoenanthus*. A l'inverse, l'échantillon D, a été récolté sur un site retenant beaucoup d'eau, où *Cymbopogon schoenanthus* coexistent avec plusieurs autres espèces végétales. Dans le futur, des analyses de sols seront envisagées, en vue de compléter ces résultats.

Dans les deux zones où les échantillons C et D ont été récoltés, le développement des feuilles a commencé en juillet avec les premières pluies et elles ont atteint la maturité en août. Pendant cette période la teneur de la plante en huile essentielle atteint son taux le plus élevé 6,82 % et 4 % respectivement pour les échantillons C et D (tableaux 19 et 20).

En septembre, pendant la floraison la teneur en huile essentielle est maximale dans les inflorescences (6,30 et 2,66 %, respectivement pour C et D), au dépens des deux autres organes de la plante (4,53 et 2,2 % pour l'ensemble feuilles + tiges, respectivement pour C et D). Cependant, en cette période le rendement moyen en essence de la plante (feuilles + tiges + inflorescences) est faible (4,55 et 2,1 % , respectivement pour C et D), par rapport à sa valeur dans les feuilles et dans les inflorescences.

Dans les échantillons C et D, on peut aussi remarquer que d'octobre (après la floraison) à décembre, la teneur en huile essentielle est chaque fois plus élevée dans les feuilles que dans les inflorescences. Pendant cette période, elle est également plus élevée dans les inflorescences que dans les tiges de ces deux échantillons (tableaux 19 et 20). Ces résultats montrent que l'huile essentielle de *C. schoenanthus* est accumulée principalement dans les feuilles et les inflorescences, les tiges étant très pauvres en essence comparativement à ces deux organes. Tout se passe comme si les tiges jouent le rôle d'organe de transmission et ce fait pose le problème du rôle de l'huile essentielle dans la physiologie de la plante.

Au delà du mois de novembre et au fur et à mesure que la plante sèche, le rendement en huile essentielle diminue dans ses différents organes. Cette baisse de rendement pourrait en partie s'expliquer par l'arrêt de la biosynthèse de l'huile essentielle dans la plante sèche et par la volatilité de certains des constituants de celle-ci, ce que confirme d'ailleurs le faible rendement en huile essentielle de l'échantillon B, constitué des inflorescences sèches de la plante. En effet, les influences des conditions de conservation et du séchage sur le rendement et la composition chimique d'une huile essentielle, ont été rapportées par différents auteurs ^[150,151, 152].

À l'examen des résultats des tableaux 19 et 20, il apparaît qu'au cours du développement de la plante, sa teneur en huile essentielle passe par un maximum dans chaque organe, ce qui confirme le fait que le recouvrement total de l'huile essentielle dépend de la période de récolte. Pour *Cymbopogon*

schoenanthus du Burkina Faso, la période optimale de récolte se situe avant la floraison.

Les résultats des analyses des huiles essentielles sont indiqués dans les tableaux 21, 22, 23 et 24, respectivement pour les échantillons A et B, C, D et E. Les figures 46, 47, 48 et 49 représentent les chromatogrammes des essences, respectivement des échantillons A, C (échantillon du 21/12/96, Dassasgho, fleurs), D (échantillon du 21/12/96, Kossodo, fleurs) et E.

Les analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) des huiles essentielles des échantillons A et B d'une part et d'autre part, la comparaison des chromatogrammes (temps et/ou indices de rétention) des échantillons C, D et E à ceux des essences des échantillons A et B, ont permis l'identification d'une quinzaine de produits, parmi les constituants élués (figures 46 à 49). Ces produits représentent 98,8, 99,1 et 97,4 % des huiles essentielles, respectivement des échantillons A, B et E (tableaux 21 et 24), 41 à 98,1 % de l'huile essentielle de l'échantillon C (tableau 22) et 60,9 à 96,5 % de celle de l'échantillon D (tableau 23). Ils appartiennent aux deux classes de composés régulièrement rencontrés dans les huiles essentielles : les mono et sesquiterpènes. Toutefois, les teneurs en mono et sesquiterpènes sont variables d'un échantillon à un autre (tableaux 21, 22, 23 et 24) et pour un échantillon donné, elles varient selon la période de récolte et l'organe de la plante (tableaux 21 et 22). En effet, les monoterpènes constituent 87,5, 76,8 et 83,7 % des essences, respectivement des échantillons A, B et E. Dans chacune des essences de ces trois échantillons, la proportion des monoterpènes (du δ -2-carène à la pipéritone plus le 3-méthyl-octanoate de butyle) est plus élevée que celle des sesquiterpènes (de l'élémane au bulnesol). D'août à octobre, les feuilles, les tiges et les inflorescences de l'échantillon C contiennent une importante proportion de composés monoterpéniques (78,9 à 90,9 %) (tableau 22) alors que c'est en juillet et en août que les feuilles de l'échantillon D s'avèrent particulièrement riches en ce type de composés (89,3 à 91,1 %) (tableau 23).

Les résultats des analyses montrent que, parmi les composés identifiés, deux monoterpènes (la pipéritone et le δ -2-carène) demeurent les constituants principaux dans les huiles essentielles de tous les échantillons (tableaux 21, 22, 23 et 24). Leurs teneurs varient en fonction de la période de récolte. Le taux de pipéritone est 59,1 ; 56,6 et 61,6 % dans les huiles essentielles, respectivement des échantillons A, B et E (tableaux 21 et 24). En septembre, pendant la floraison, il est de 60,4 et 45,7 % dans les huiles essentielles des parties aériennes, respectivement, des échantillons C et D (tableaux 22 et 23). Dans l'échantillon C et pour la période de récolte s'étendant de juillet à décembre 96, la pipéritone représente 31,5 à 55,9 % de l'huile essentielle des feuilles, 39,3 à 54,8 % de l'essence des tiges et 19,3 à 55,3 % de celle des inflorescences (tableaux 25 à 27).

Pour la même période, elle représente 35,2 à 62,9 % ; 24,1 à 44,8 % et 20,2 à 50,3 % des huiles

Tableau 21 : Composition chimique de l'huile essentielle des feuilles(échantillon A) et des inflorescences (échantillon B) de *Cymbopogon schoenanthus*.

N° Constituants*	Indice de rétention sur OV 101	échantillon A pourcentage relatif	échantillon B pourcentage relatif
1 δ -2-carène	996	25,3	16,8
2 limonène	1026	3,9	3,1
3 cis-p-menth-2-èn-1-ol	1088	-	1,0
4 trans-p-menth-2-èn-1-ol	1112	1,1	0,2
5 α -terpinéol	1178	1,1	1,0
6 pipéritone	1244	59,1	55,6
7 élémène	1385	t**	t**
8 β -caryophyllène	1411	t**	t**
9 élémol	1540	5,8	8,1
10 γ -eudesmol	1624	1,1	2,5
11 T-muurolool	1638	-	1,4
12 β -eudesmol	1642	1,1	4,4
13 α -eudesmol	1647	1,3	4,0
14 bulnesol	1652	-	1,9
Total		98,8	99,1
Monoterpènes		87,5	76,8
Sesquiterpènes		9,3	22,3

* N° des constituants par ordre d'élution sur OV 101 ; ** t = traces

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

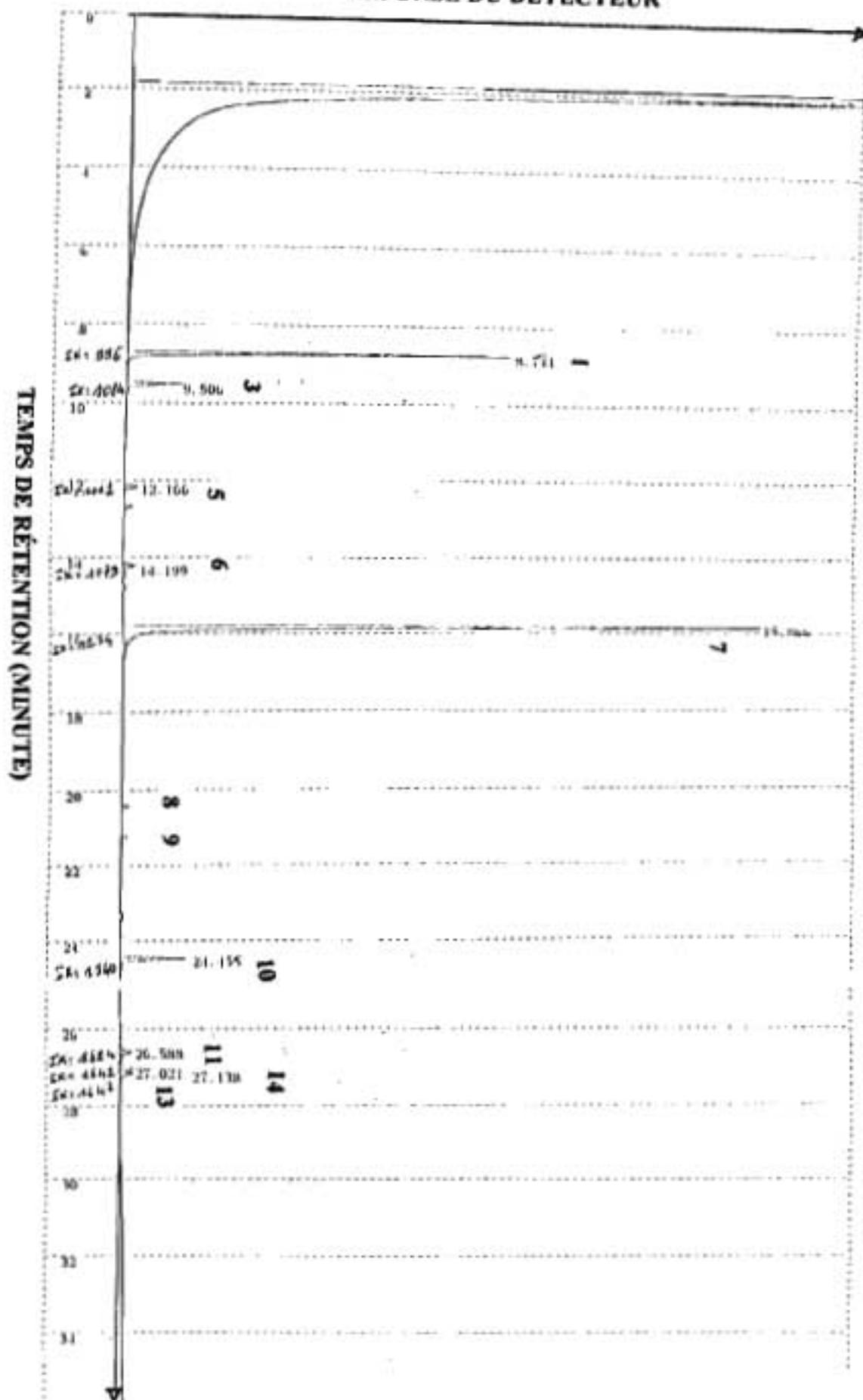


Fig. 46 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (échantillon A)

Tableau 23 : Composition chimique en fonction de la période de récolte (Juillet à Décembre 1990) de l'Huile essentielle de *Cymbopogon schimadatus* (rectumilline) C. Dazasghari

Période de récolte	Juillet		Août		Septembre						Octo.						Novembre						Décembre					
	a		a		a-b-c		b-c		c		a		b		c		a		b		c		a		b		c	
Organes prélevés	TR (min) *	%																										
1 Delta-2-caryène	9,051	8,2	9,09	20,3	9,077	14,8	9,074	22	9,655	17,9	9,074	28,1	9,146	24,7	9,106	22,1	9,054	12	9,092	13,2	9,079	13,3	9,067	12,4	9,072	14,7	9,097	6,4
2 P-Caryène	9,405	0,1	9,45	0,1	9,452	0,1	9,447	0,1	9,425	0,1	9,53	0,1	9,483	0,1	9,471	0,1	9,521	0,1	9,535	0,1	9,547	0,1	-	-	9,532	0,1	9,554	0,1
3 Limonène	9,778	1,5	9,82	3,2	9,819	2,6	9,81	7,4	9,792	2,9	9,815	4,4	9,862	5,9	9,84	5,8	9,804	2,1	9,825	1,9	9,829	2,4	9,826	2,1	9,817	2,5	9,838	1,1
4 Cis-p-menth-2-én-1-ol	12,402	0,5	12,478	1	12,459	1	12,427	1,1	12,497	1	12,433	1,2	12,476	1	12,457	1	12,419	0,7	12,44	0,6	12,445	0,7	12,444	0,6	12,444	0,7	12,466	0,3
5 Trans-p-menth-2-én-1-ol	13,9	0,3	12,937	0,6	12,938	0,6	12,926	0,6	12,907	0,5	12,932	0,7	12,975	0,6	12,956	0,6	12,919	0,5	12,94	0,4	12,944	0,4	12,945	0,4	12,936	0,5	12,954	0,2
6 Alpha-terpinol	14,439	0,5	14,461	1	14,462	1	14,448	1,2	14,428	0,9	14,452	1	14,504	1	14,477	1	14,437	0,7	14,466	0,7	14,462	0,8	14,46	0,5	14,459	1	14,477	0,5
7 Piperitone	16,323	42	16,321	55,9	16,311	60,4	16,274	58,3	16,26	59,3	16,225	55,2	16,412	51,1	16,289	50,3	16,217	46,6	16,346	39,3	16,233	45,7	16,162	31,5	16,281	54,8	16,288	19
8 Béta-caryène	20,743	0,5	20,786	0,4	20,789	0,8	20,779	0,6	20,757	0,8	20,789	0,7	20,851	0,6	20,807	1	20,77	0,5	20,791	0,6	20,794	1,2	20,798	0,6	20,789	0,7	20,81	0,6
9 Béta-Caryophyllène	21,576	0,5	21,621	0,6	21,616	1	21,614	0,8	21,592	1,1	21,622	0,6	21,667	0,6	21,639	0,9	21,605	0,5	21,627	0,8	21,629	1,4	21,632	0,6	21,623	0,8	21,648	0,6
10 Octanone de 3-méthyle	23,655	0,1	23,701	0,1	23,699	0,2	23,685	0,2	23,672	0,2	23,642	0,2	23,726	0,2	23,699	0,2	23,692	0,4	23,71	0,5	23,706	0,7	23,648	1,1	23,71	0,6	23,73	0,4
11 Élénol	24,791	6,2	24,81	4	24,812	4,9	24,789	3,6	24,775	4,4	24,791	3,3	24,867	3,5	24,82	5,4	24,785	4,3	24,836	5,3	24,816	8,6	24,797	0,4	24,805	4,5	24,856	4,1
12 Gamma-Eudesmol	26,896	1,8	26,935	1,1	26,938	1,8	26,925	1	26,899	1,5	26,951	0,8	26,985	1	26,946	1,2	26,921	2,3	26,955	2,4	26,945	3,4	26,943	1,2	26,941	2,3	26,991	3
13 T-Murolol	27,075	1,1	27,121	0,4	27,123	0,7	27,108	0,4	27,087	0,8	27,114	0,1	27,172	0,4	27,13	0,3	27,104	0,4	27,139	0,9	27,126	0,8	-	-	27,126	0,6	27,171	0,4
14 Béta-Eudesmol	27,313	0,3	27,357	0,3	27,361	1	27,346	0,6	27,322	0,6	27,351	0,8	27,413	0,8	27,367	0,9	27,345	2,1	27,391	2,3	27,363	2,6	27,365	1,3	27,368	2,5	27,419	1,7
15 Alpha-Eudesmol	27,44	1	27,48	1,1	27,482	1,4	27,468	0,9	27,411	1,2	27,474	0,9	27,535	1,1	27,389	1,2	27,468	2,5	27,515	2,4	27,49	3,6	27,481	1,1	27,491	2,3	27,542	2,7
16 Balfesol	27,726	0,2	27,672	1,1	27,664	0,1	-	-	27,64	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	27,668	0,2	27,775	0,3	-	-	27,772	0,2	27,806	0,1
TOTAL		65,2		91,6		92,4		94,8		89,4		98,1		90,6		91,4		75,7		69,6		86		56,8		88,5		41
Monoterpènes		53,2		83,2		80,7		86,9		78,9		90,9		82,6		80,5		63,1		54,7		64,1		48,6		75		27,8
Sesquiterpènes		12		9,4		11,7		7,9		10,5		7,2		8		10,9		12,6		14,9		21,9		8,3		17,0		13,2

*temps de rétention sur la colonne OV101

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

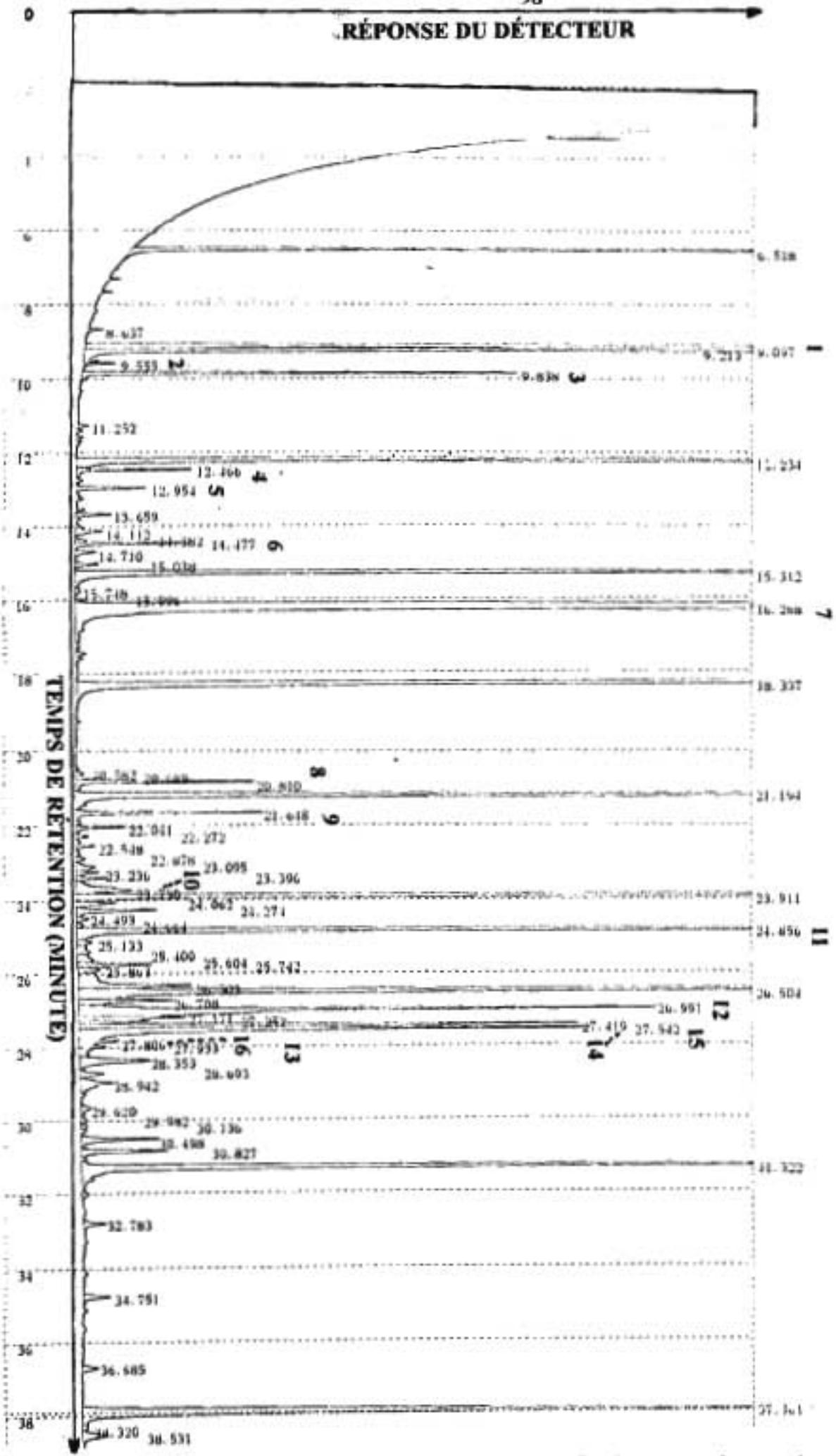


Fig. 47 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (Échantillon du 21/12/96, Dassasgho, fleurs)

Tableau 23 : Composition chimique en fonction de la période de récolte (Juillet à Décembre 1996) de *Cymbopogon*

Période de récolte	Juillet		Août		Septembre			Octobre			Novembre			Décembre																
	a		a		a-b-c	a+c	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c														
Organes prélevés	TH (mg)	%	TH (mg)	IS (s)	TH (mg)	IS (s)	%	TH (mg)	IS (s)	%	TH (mg)	IS (s)	%	TH (mg)	IS (s)	%	TH (mg)	IS (s)	%											
1 Delta-3-carene	9,09	20,3	9,104	997	20,2	9,075	996	14,4	9,097	13,2	9,088	19,4	9,076	12,5	9,063	5,9	9,056	16,4	9,04	16,9	9,021	8,4	9,012	5,9	9,021	15,7	9,066	11,9	9,103	10,8
2 P-Cymène	9,421	0,1	9,420	1008	0,1	9,419	1008	0,1	9,429	0,1	9,426	0,1	9,512	0,1	-	-	-	-	-	-	9,772	-	9,467	0,1	-	-	-	-	9,455	0,1
3 Limonène	9,802	2,7	9,808	1022	4,6	9,791	1021	2,4	9,806	3,1	9,809	3,1	9,903	2	9,824	1,2	9,802	2,8	9,85	2,9	12,392	1,7	9,753	1	9,813	2,7	9,821	2,1	9,829	1,9
4 Cis-p-menth-2-ène-1-ol	12,411	1,6	12,406	1106	0,9	12,401	1106	0,8	12,409	1	12,417	0,9	12,413	0,6	12,446	0,4	12,416	0,8	12,471	0,9	12,892	0,6	12,375	0,7	12,433	0,7	12,441	0,5	12,445	0,5
5 Trans-p-menth-2-ène-1-ol	12,904	1	12,904	1125	0,6	12,899	1123	0,5	12,905	0,5	12,914	0,6	12,932	0,4	12,947	0,3	12,916	0,5	12,971	0,6	14,411	0,4	12,877	0,2	12,933	0,5	12,941	0,4	12,946	0,4
6 Alpha-terpinol	14,428	1,3	14,428	1173	0,9	14,422	1173	0,9	14,427	0,8	14,426	0,9	14,434	0,7	14,462	0,5	14,43	0,7	14,488	0,8	16,202	0,7	14,401	0,4	14,431	0,7	14,438	0,7	14,474	0,8
7 Pipéritone	16,416	62,9	16,333	1236	51,8	16,362	1237	45,7	16,352	44,7	16,329	50,1	16,307	35,2	16,187	26,1	16,189	39,3	16,242	45	20,741	38,8	16,236	20,2	16,242	41,5	16,205	44,8	16,366	31,4
8 Bêta-citronellol	20,746	0,2	20,753	1385	0,5	20,752	1385	0,9	20,758	0,9	20,763	1,2	20,768	1,2	20,805	2	20,771	2	20,816	1,6	21,572	1,3	20,728	1,4	20,784	1,4	20,789	0,9	20,809	1,4
9 Bêta-Carvophyllène	21,577	0,2	21,591	1415	0,8	21,579	1415	0,4	21,589	0,6	21,592	0,7	21,599	0,7	21,64	1,5	21,604	1,3	21,658	0,7	23,649	1,1	21,562	1,7	21,619	2	21,623	1,4	21,638	0,8
10 Octanone de 1-méthyleuryle	23,776	0,2	23,668	1492	0,2	23,66	1491	0,3	23,661	0,4	23,669	0,4	23,684	0,3	23,648	0,8	23,681	0,6	23,676	0,5	24,794	1,1	23,646	1,5	23,632	0,6	23,639	0,6	23,704	0,8
11 Élénol	24,761	2,7	24,769	1574	1,9	24,878	1537	9,5	24,805	6	24,793	5,7	24,844	14,2	24,813	5,1	24,796	15,8	24,856	12,7	26,912	16,7	24,835	15,8	24,813	7,4	24,799	6,4	24,923	12,2
12 Gamma-Eudémol	26,883	0,5	26,894	1617	0,7	26,919	1618	3,3	26,907	1,5	26,902	1,1	26,944	4,6	26,954	1,6	26,919	2,7	26,979	3,3	27,802	5,5	26,947	6,5	26,951	4,9	26,941	4,9	27,017	5
13 T-Alaenol	27,067	0,2	27,083	1627	0,3	27,101	1625	1,4	27,095	1,2	27,088	0,8	27,118	1,1	27,142	0,9	27,104	0,9	27,164	0,8	27,347	2,4	27,024	4,7	27,13	0,8	27,13	1,3	27,102	2,1
14 Bêta-Eudémol	27,395	0,4	27,314	1634	0,4	27,355	1636	2,8	27,336	1	27,337	1,4	27,389	4,7	27,378	3,4	27,341	2,3	27,406	4,1	27,474	6,2	27,391	6,1	27,376	6,2	27,376	7,5	27,485	4,9
15 Alpha-Eudémol	27,426	0,4	27,437	1639	0,6	27,486	1642	3,9	27,431	3	27,452	2,2	27,521	3,1	27,501	3,9	27,468	4,6	27,529	4,1	27,739	7,3	27,348	6,9	27,497	3,7	27,497	7,2	27,555	7,1
16 Bânesol	27,73	0,1	-	-	-	27,648	1648	0,9	-	-	27,744	0,1	27,779	0,5	27,771	5,3	-	-	-	-	-	0,2	-	0,5	27,73	0,1	27,73	0,2	-	-
TOTAL	95,7				96,7			98,2	94,1		89,9		81,9		60,8		90,7		94,9		87,4		73,2		90,9		91,8		79,9	
Monoterpènes	93,1				93,3			95,1	89,9		79,7		71,8		53,2		61,1		67,6		46,7		29,6		62,4		61		46,4	
Sesquiterpènes	4,2				3,2			2,3	4,2		14,2		14,2		27,6		29,6		27,3		40,7		43,6		28,5		29,8		33,5	

* temps de rétention sur la colonne OV101

** Indices de rétention sur OV 101

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

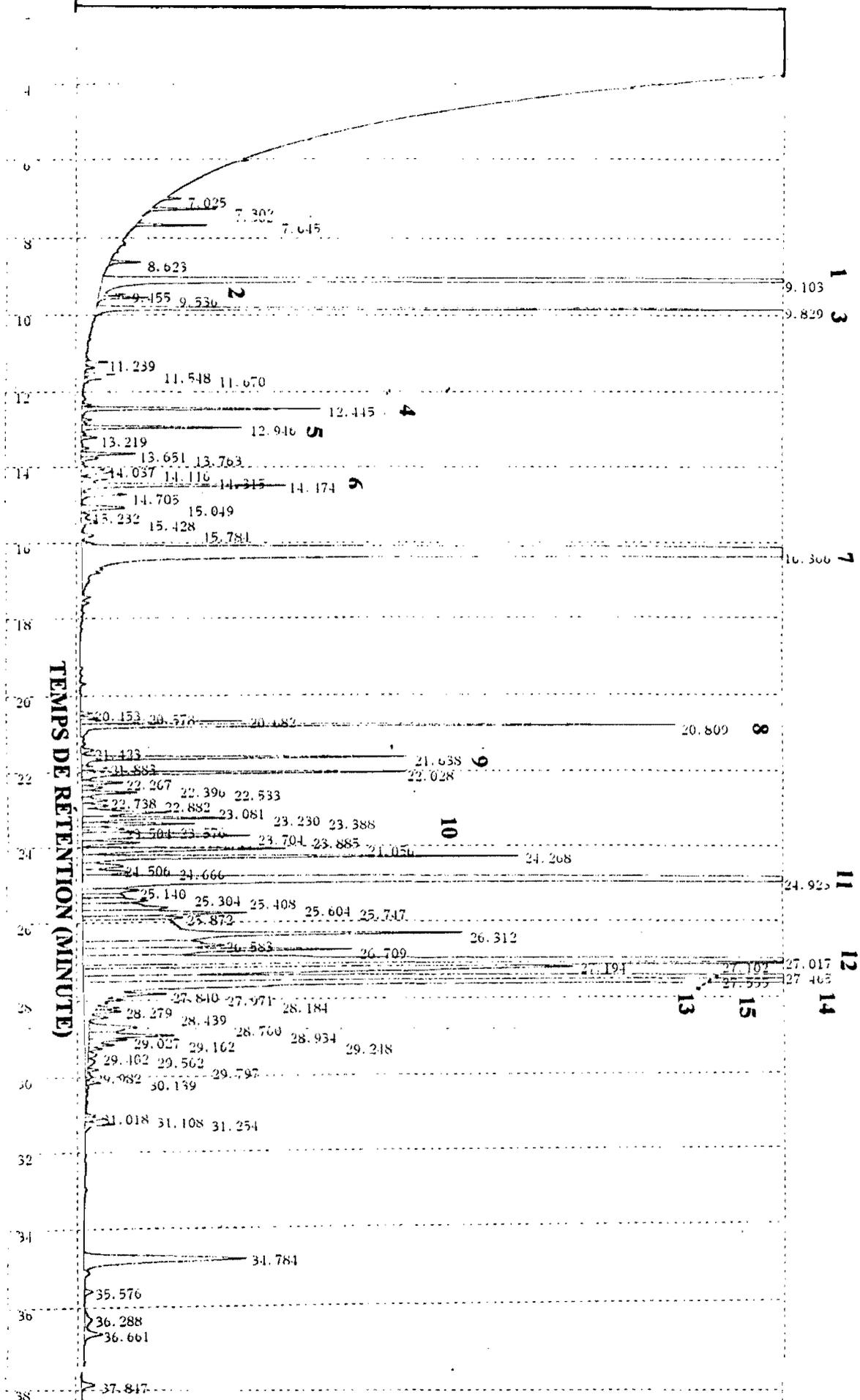


Fig. 48 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (échantillon du 21/12/96, Kossodo, fleurs)

Tableau 24 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (Bondukuy, échantillon E)

N° Constituants	Temps de rétention sur OV 101	pourcentage relatif
1 δ -2 carène	8,722	17,0
2 limonène	9,457	2,6
3 cis-p-menth-2-én-1-ol	12,032	0,8
4 trans-p-menth-2-én-1-ol	12,526	0,5
5 α -terpinéol	14,029	1,0
6 pipéritone	15,81	61,6
7 élémène	20,331	0,6
8 β -caryophyllène	21,154	1,0
9 3-méthylbutanoate de butyle	23,23	0,2
10 élémol	24,32	6,4
11 γ -eudesmol	26,439	1,8
12 T-muurolol	26,625	0,3
13 β -eudesmol	26,859	1,7
14 α -eudesmol	26,982	1,9
Total		97,4
Monoterpènes		83,7
sesquiterpènes		13,7

* N° constituants par ordre d'éluion sur la colonne OV101

RÉPONSE DU DÉTECTEUR

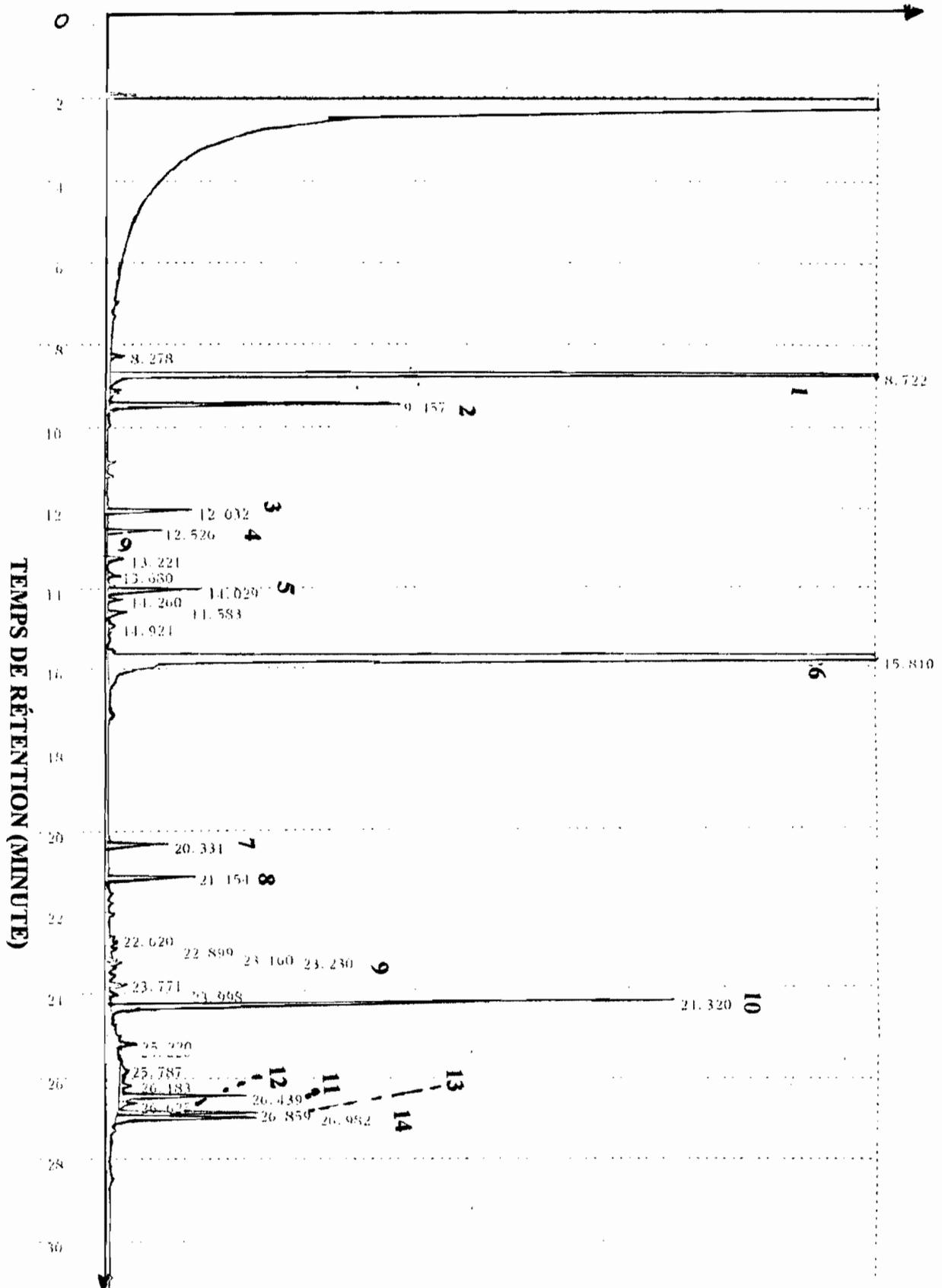


Fig. 49 : Chromatogramme de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (échantillon E, Bondukuy)

On peut aussi remarquer que c'est dans les feuilles de la plante qu'on trouve le taux le plus élevé de pipéritone : 55,9 et 62,9 %, respectivement dans les échantillons C et D.

Les teneurs en δ -2-carène sont de 22,3, 16,8 et 17 % dans les huiles essentielles, respectivement des échantillons A, B et E (tableaux 21 et 24). Dans l'échantillon C, il représente 8,2 à 28,1 % de l'huile essentielle des feuilles, 11,2 à 24,7 % de l'essence des tiges et 6,4 à 23,5 % de celle des inflorescences (tableaux 25 à 27). Les tiges de l'échantillon D qui contiennent 5,9 à 11,9 % de δ -2-carène, se révèlent moins riches que les feuilles (12,5 à 30,2%) et les inflorescences (5,9 à 19,4 %) (tableaux 28 à 30). C'est en octobre, après la floraison, qu'on trouve le taux le plus élevé de δ -2-carène dans l'huile essentielle des feuilles de l'échantillon C (28,1 %), par contre, c'est en août, avant la floraison, que l'essence des feuilles de l'échantillon D est riche en ce composé (30,2 %).

Le taux de limonène est faible dans les huiles essentielles des échantillons A, B, C, D et E. En effet, dans aucune de ces essences elle n'atteint 5 % ; sa valeur la plus élevée est de 4,6 % dans l'huile essentielle des feuilles de l'échantillon D (tableau 28).

Les cis et trans-p-menth-2-ène-1-ol et l' α -terpinéol sont les seuls alcools monoterpéniques identifiés, d'ailleurs à des faibles teneurs, aussi bien dans les huiles essentielles des échantillons A, B et E (tableaux 21 et 24), que dans les essences des feuilles, des tiges et des inflorescences des échantillons C et D (tableaux 22 et 23).

Les sesquiterpènes représentent 9,3 ; 22,3 et 13,7 %, respectivement des huiles essentielles des échantillons A, B et E. À l'examen des tableaux 22 et 23, il apparaît que les huiles essentielles des feuilles, des tiges et des inflorescences de l'échantillon D sont plus riches en sesquiterpènes que celles des mêmes organes de l'échantillon C. En effet, dans l'échantillon C, les sesquiterpènes représentent 7,2 à 12,6 % de l'huile essentielle des feuilles, 8 à 14,9 % de l'essence des tiges et 10,5 à 21,9 % de celle des inflorescences. Dans l'échantillon D, les sesquiterpènes constituent 4,2 à 32,1 % de l'essence des feuilles, 25,7 à 40,7 % de l'huile essentielle des tiges et 14,2 à 43,6 % de celle des inflorescences.

Dans les huiles essentielles de ces deux échantillons, comme celle de l'échantillon E, on peut aussi remarquer que la proportion des composés sesquiterpéniques est surtout importante dans les organes de la plante sèche.

Dans cette classe de composés, les alcools sesquiterpéniques : élémol, α , β et γ -eudesmols sont les plus représentatifs (tableaux 21, 22, 23 et 24). Parmi ces alcools sesquiterpéniques, l'élémol reste le composé majoritaire dans tous les échantillons (tableaux 21, 22, 23 et 24). Les huiles essentielles des échantillons A, B et E contiennent respectivement 5,8 ; 8,1 et 6,4 % d'élémol. Les huiles essentielles des feuilles, des tiges et des inflorescences de l'échantillon D se révèlent particulièrement riches en élémol plus que celles des mêmes organes de l'échantillon C. En effet, dans l'échantillon C, c'est dans

Tableau 25 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des feuilles (a), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon C, Dassasgho).

période de récolte	juillet	août	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	a	a	a	a	a
constituants	%	%	%	%	%
1 pipéritone	42,0	55,9	55,2	46,6	31,5
2 δ -2-carène	8,2	20,3	28,1	12,0	12,4
3 élémol	6,2	4,0	3,3	4,3	3,4
4 limonène	1,5	3,2	4,4	2,1	2,1
5 γ -eudesmol	1,8	1,1	0,8	2,3	1,2
6 α -eudesmol	1,0	1,1	0,9	2,5	1,1
7 β -eudesmol	0,7	0,7	0,8	2,1	1,3

Tableau 26 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des tiges (b), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon C, Dassasgho).

période de récolte	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	b	b	b
constituants	%	%	%
1 pipéritone	51,1	39,3	54,8
2 δ -2-carène	24,7	11,2	14,7
3 élémol	3,5	5,3	4,5
4 limonène	3,9	1,9	2,5
5 γ -eudesmol	1,0	2,4	2,3
6 α -eudesmol	1,1	2,4	2,3
7 β -eudesmol	0,8	2,0	2,5

Tableau 27 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des inflorescences (c), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon C, Dassasgho).

période de récolte	septembre	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	c	c	c	c
constituants	%	%	%	%
1 pipéritone	55,3	50,3	45,7	19,3
2 δ -2-carène	17,9	23,5	13,3	6,4
3 élémol	4,4	5,4	8,6	4,1
4 limonène	1,5	3,8	2,4	1,1
5 γ -eudesmol	1,2	1,2	3,4	3,0
6 α -eudesmol	0,6	1,2	3,6	2,7
7 β -eudesmol	0,7	0,9	2,6	1,7

Tableau 28 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des feuilles (a), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon D, Kossodo).

période de récolte	juillet	août	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	a	a	a	a	a
constituants	%	%	%	%	%
1 pipéritone	62,9	51,8	35,2	45	41,5
2 δ -2-carène	20,3	30,2	12,5	16,9	15,7
3 élémol	2,2	3,9	14,2	12,7	7,4
4 limonène	3,7	4,6	2,0	2,9	2,7
5 γ -eudesmol	0,5	0,7	4,6	3,3	4,9
6 α -eudesmol	0,4	0,6	5,3	4,1	5,7
7 β -eudesmol	0,4	0,4	4,7	4,1	6,2

Tableau 29 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des tiges (b), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus*, échantillon D, Kossodo).

période de récolte	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	b	b	b
constituants	%	%	%
1 pipéritone	24,1	38,8	44,8
2 δ -2-carène	5,9	8,4	11,9
3 élémol	5,5	16,7	6,4
4 limonène	1,2	1,7	2,1
5 γ -eudesmol	3,6	5,5	4,9
6 α -eudesmol	3,9	7,3	7,2
7 β -eudesmol	3,4	6,2	7,5

Tableau 30 : Evolution de la teneur relative des principaux constituants dans l'huile essentielle des inflorescences (c), en fonction de la période de récolte (*Cymbopogon schoenanthus* échantillon D, Kossodo).

période de récolte	septembre	octobre	novembre	décembre
organe prélevé	c	c	c	c
constituants	%	%	%	%
1 pipéritone	50,3	39,3	20,2	31,4
2 δ -2-carène	19,4	16,4	5,9	10,8
3 élémol	5,7	15,8	15,8	12,2
4 limonène	3,1	2,8	1,0	1,9
5 γ -eudesmol	2,1	2,7	6,5	5,0
6 α -eudesmol	2,2	4,6	6,9	7,1
7 β -eudesmol	1,4	2,3	6,1	4,9

les inflorescences qu'on trouve une proportion importante d'éléamol et le taux le plus élevé est de 8,6 % (tableau 27). Par contre, dans l'échantillon D, l'éléamol représente 2,2 à 14,2 % de l'essence des feuilles (tableau 28), 5,5 à 16,7 % de l'huile essentielle des tiges (tableau 29) et 5,7 à 15,8 % de l'essence des inflorescences (tableau 30).

L'huile essentielle de l'échantillon B (tableau 21), constitué des inflorescences est plus riche en α , β et γ -eudesmols que les essences des échantillons A (feuilles) et E (feuilles et tiges) (tableaux 21 et 24). La proportion des trois eudesmols est également plus importante dans les huiles essentielles des feuilles, des tiges et des inflorescences de l'échantillon D (tableaux 28 à 30) que dans celles des mêmes organes de l'échantillon C (tableaux 25 à 27).

La figure 50 donne les principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus*. L'examen des tableaux 25 à 30, montre qu'au cours du développement de la plante, la proportion des principaux constituants des huiles essentielles des échantillons C et D varie en fonction de la période de récolte. En outre, on peut remarquer que dans chaque organe, il existe une période de récolte pour laquelle la teneur de chaque constituant principal est maximale.

Eu égard aux principaux constituants et à leurs proportions, la composition chimique de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* du Burkina Faso se rapproche de celle de l'huile essentielle de la même espèce récoltée au Togo^[83] et diffère des compositions chimiques des huiles essentielles des échantillons du Soudan^[109] et de l'Inde^[110] (cf, première partie, chapitre II, 2.2.2). Cependant, bien que *C. schoenanthus* du Burkina Faso contienne les mêmes types de composés que *C. schoenanthus* du Togo, son essence se singularise par l'absence de certains constituants. Par exemple, l' α -eudesmol, l'un des constituants principaux de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* du Burkina Faso est absent dans l'essence de l'espèce du Togo. On notera également que les monoterpènes tels que le (Z)-hydrate de pinène, le (E)-hydrate de pinène, l'estragol, l'humulène, le (E)- β -farnésène, les α et β -cadinènes, l'oxyde de caryophyllène et le β -terpinéol présents, mais en faible proportion dans l'huile essentielle des échantillons du Togo, sont absents dans les essences des échantillons du Burkina Faso. On relève aussi l'absence dans ces dernières des composés sesquiterpéniques tels que le tyglate de citronnellyle identifiés dans l'essence de *Cymbopogon schoenanthus* du Togo.

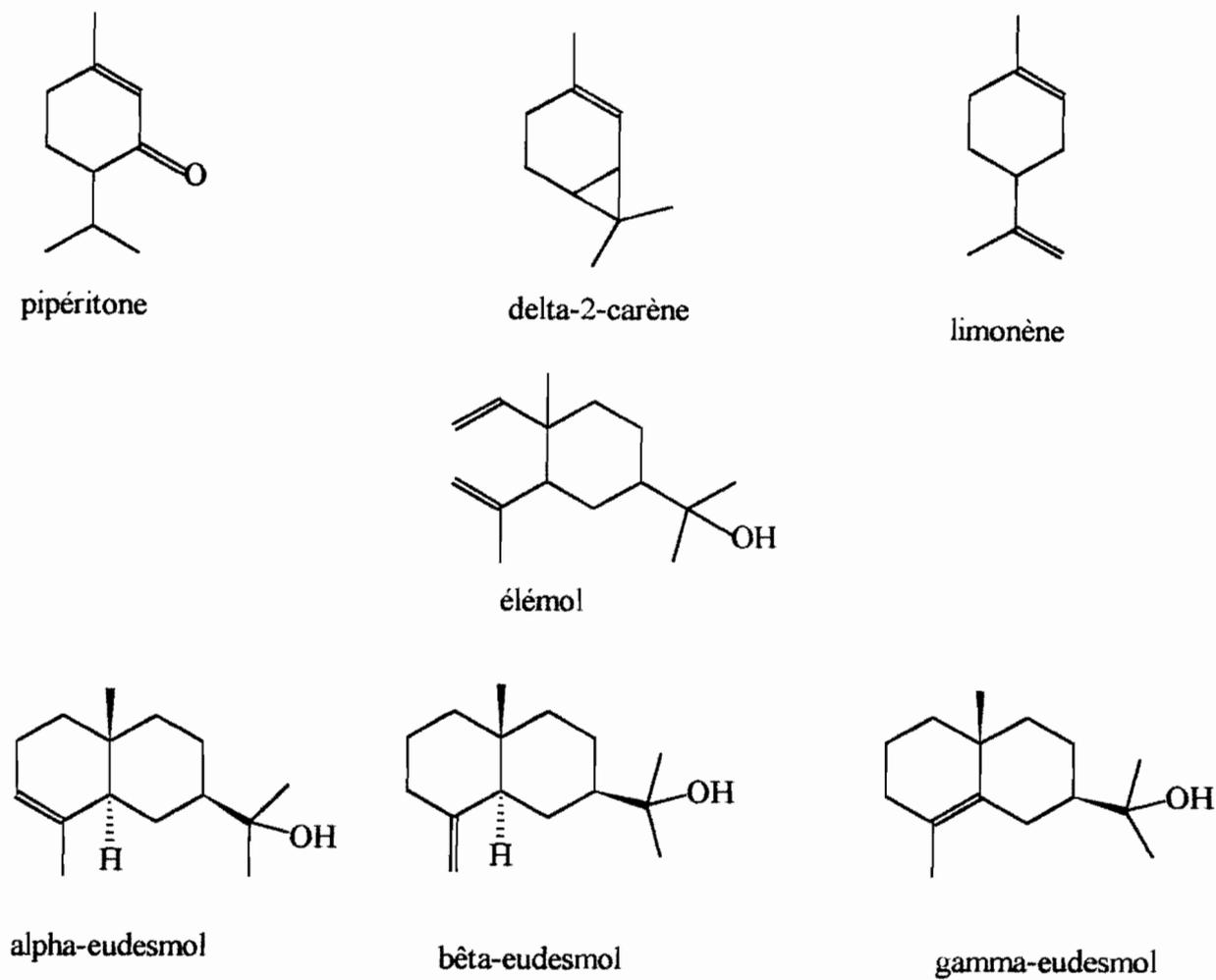


Fig. 50 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* échantillons (A, B, C, D et E)

3. *C. giganteus* Chiov.

L'échantillon dont nous avons analysé l'huile essentielle, a été récolté dans le jardin de l'Institut du Développement Rural (I.D.R) de Ouagadougou (cf., partie expérimentale, tableau 32). L'essence est obtenue à partir des feuilles, par hydrodistillation, avec un rendement de 0,5 % volume/masse.

A l'examen des résultats du tableau 31, il apparaît que l'huile essentielle de *C. giganteus* est constituée du limonène (17,3 %) et ses dérivés d'oxydation (figure 51) : une série d'alcools monoterpéniques isomères possédant le squelette du p-menthane, les menthadiénols [trans-p-mentha-1(7)-dièn-2-ol (17 %), cis-p-mentha-1(7)-8-dièn-2-ol(16,3 %), trans-p-mentha-2,8-dièn-1-ol (13,8 %) et cis- p-mentha-2,8-dièn-1-ol (9,3 %)] et les isopipériténols [isopipériténol I (4,5 %) et isopipériténol II + trans-carvéol (5,8 %)]. Cette essence a qualitativement la même composition chimique que les huiles essentielles de *C. giganteus* du Cameroun ^[7]. Cependant, elle se singularise par la proportion de certains composés majoritaires : par exemple le trans-p-mentha-1(7)-dièn-2-ol dont la teneur est de 32,4 % dans l'huile essentielle de l'échantillon du Cameroun, ne représente que 17 % dans l'essence de l'échantillon du Burkina Faso. Par contre, le limonène l'un des constituants principaux de l'huile essentielle de l'échantillon du Burkina Faso (17 %) ne représente que 2,3 % de l'huile essentielle de *C. giganteus* du Cameroun.

La composition chimique de l'échantillon du Burkina Faso diffère de celle de l'échantillon de Côte d'Ivoire, si l'on se réfère au limonène, au taux de 17 % dans l'huile essentielle de l'échantillon du Burkina Faso et qui est absent dans celle de l'échantillon de Côte d'Ivoire. De part la nature des constituants principaux et leurs proportions, l'huile essentielle de *C. giganteus* du Burkina Faso, objet de cette étude, a une composition chimique proche de celle du Mali ^[112, 113].

L'huile essentielle de *C. giganteus* du Burkina Faso a également une composition chimique similaire aux compositions chimiques de certaines autres espèces de la famille des Poaceae, notamment *Cymbopogon martinii* var. *sofia* ^[153a, 153 b] et *Cymbopogon densiflorus* ^[154, 155, 156].

Tableau 31 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Cymbopogon giganteus* Chiov.

N° constituants*	Indice de rétention OV101	pourcentage relatif
1 p-cymène	1015	0,3
2 limonène	1026	17,3
3 p-cymenène	1079	0,8
4 cis-p-menth-2-èn-1-ol	1088	0,2
5 trans-p-mentha-2,8-dièn-1-ol	1110	13,8
6 cis-p-mentha-2,8-dièn-1-ol	1124	9,3
7 trans-limonène oxyde	1131	0,5
8 M** = 138	1135	0,2
9 4-isopropénylcyclohex-2-èn-one	1144	0,8
10 M** = 134	1159	0,2
11 terpinèn-4-ol	1172	0,1
12 3,9-époxy-mentha-1, 8(10)-diène	1176	0,8
13 trans-p-mentha-1(7), 8-dièn-2-ol	1178	17
14 α -terpinéol	1178	0,1
15 isopulégone***	1183	1,4
16 isopipériténol I	1188	4,5
17 menthèn-9-ol	1195	0,9
18 isopipériténol II + trans-carvéol	1204	5,8
19 M** = 150	1214	0,5
20 cis-p-mentha-1(7), 8-dièn-2-ol	1215	16,5
21 M** = 154	1218	0,2
22 carvone	1234	4,1
23 3-méthylhexanoate de butyle	1259	0,6
24 isopipériténone	1273	1,4
25 périllaldéhyde	1280	0,9
26 oxyde d'isopulégone***	1368	0,3
27 3-méthyl octanoate de butyle	1459	0,5
Total		98,1

* N° Constituants par ordre d'élution sur la colonne OV101 ; ** masse molaire ; *** tentative d'identification

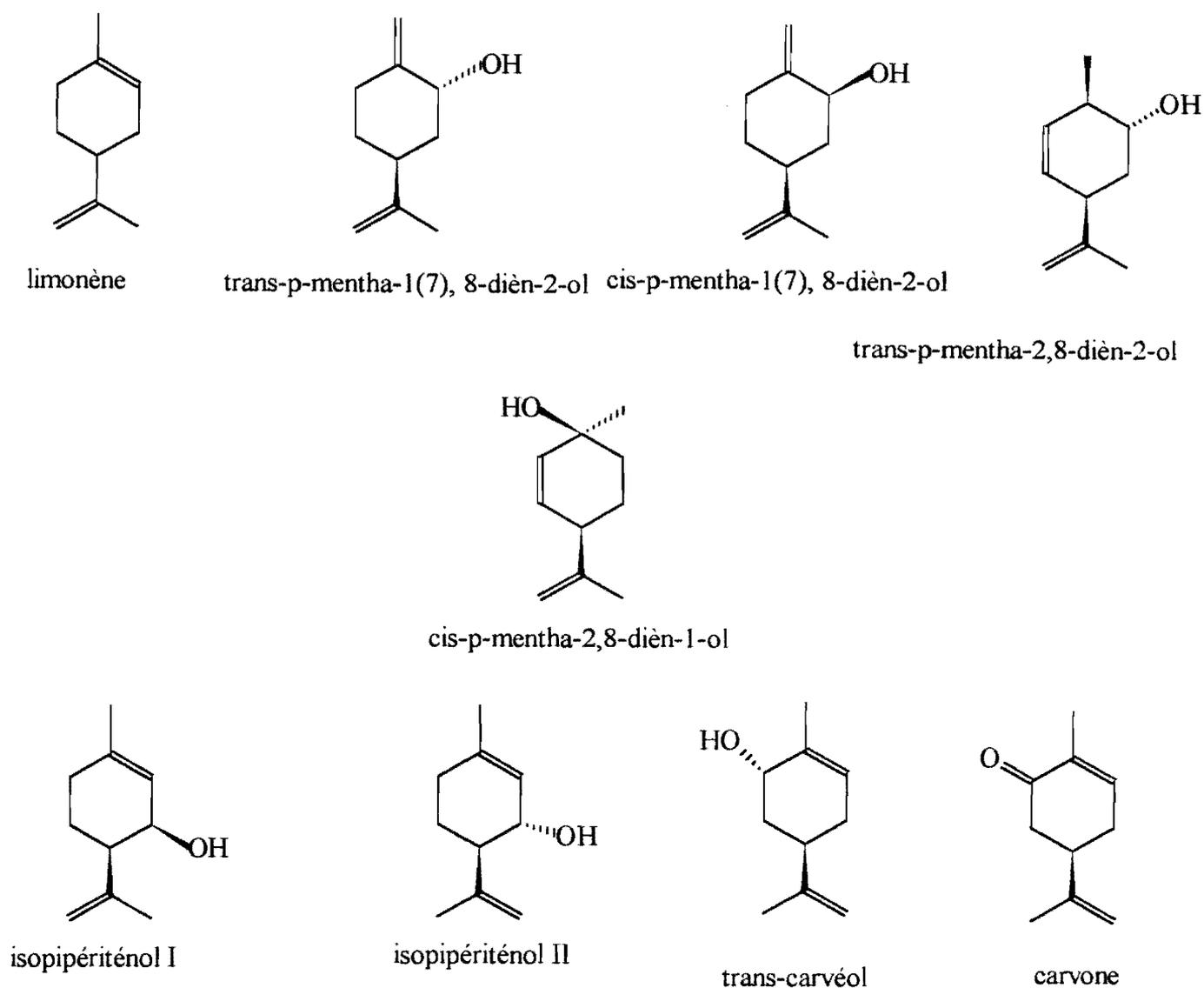


Fig. 51 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Cymbopogon giganteus*

4. *Cymbopogon citratus* (D.C. ex. Nees.)

L'échantillon de *C. citratus* dont l'huile essentielle a été analysée, a été récolté à Ouagadougou (cf., partie expérimentale, tableau 32). L'essence obtenue à partir des feuilles, par hydrodistillation, avec un rendement de 1,4 %, est constituée en majorité de citral sous ses deux formes isomères : le néral (33 %) et le géraniol (44,6 %), avec un taux appréciable de myrcène

(10,7 %) (figure 52 et tableau 32).

La composition de l'huile essentielle de l'échantillon du Burkina Faso, se rapproche de celle des espèces du Brésil ^[120], de Ceylan ^[121], du Japon ^[122], du Bangladesh ^[123], des Philippines ^[124], de la Somalie ^[125], de l'Inde ^[126], du Nigéria ^[127], du Ghana ^[128], du Zaïre ^[129] et du Congo ^[7], mais elle diffère de celle des échantillons de Sao-Tomé ^[130] et de l'Ethiopie ^[131].

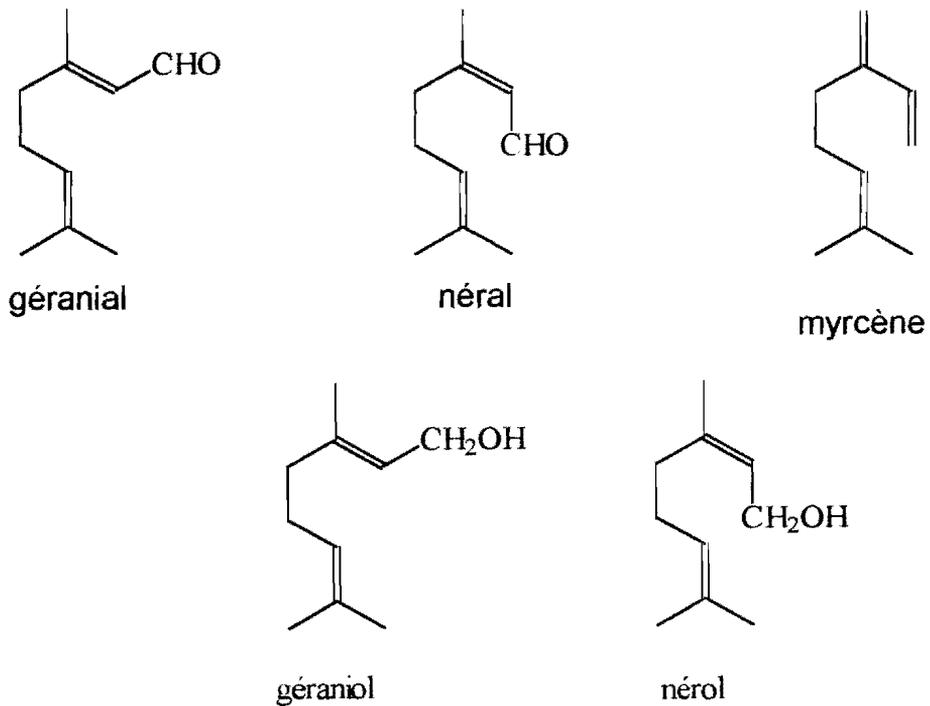


Fig. 52 : Structures des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*

Tableau 32 : Composition chimique de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf.

N° constituants*	Indice de rétention OV101	pourcentage relatif
1 6-méthyl-hept-5-èn-2-one	965	0,7
2 myrcène	985	10,7
3 1,8-cinéole	1027	0,2
4 cis- β -ocimène	1030	0,1
5 trans- β -ocimène	1041	0,1
6 linalol	1088	0,8
7 nonanal	1101	0,1
8 camphre	1136	0,1
9 citronellal	1146	0,1
10 isobonéol	1153	1,1
11 terpinèn-4-ol	1172	0,3
12 α -terpinéol	1178	0,2
13 citronellol	1214	0,4
14 nérol	1219	1,5
15 néral	1225	33
16 géraniol	1246	2,3
17 géranial	1255	44,6
18 undécan-2-one	1278	0,1
19 acide nérique	1310	0,2
20 pipéronal	1317	0,3
21 acide géranique	1346	0,4
22 eugénol	1351	0,7
23 acétate de géranyle	1364	0,2
24 tridéca-2-one	1480	0,1
Total		99,1

* Constituants par ordre d'élution sur la colonne OV101

5 CONCLUSION

L'objectif de l'étude sur *Cymbopogon schoenanthus* du Burkina Faso est la mise en évidence de l'influence de la période de récolte (elle-même liée aux paramètres du milieu) sur la production en quantité et en qualité de l'huile essentielle. Nous avons choisi des périodes de récolte différentes et différents sites naturels, pour comparer ou pour observer simultanément l'évolution des rendements en huile essentielle et la variabilité de la teneur des principaux constituants.

Les résultats de cette étude montrent que les échantillons A, B, E, C ou D (récoltés à différentes périodes et sur différents sites) ou les échantillons C et D (récoltés à la même période sur deux sites différents) ont des rendements différents en huile essentielle. En effet, l'échantillon C est plus riche en huile essentielle que les échantillons A, B, D et E. Ces résultats montrent également que les feuilles sont plus riches en huile essentielle que les inflorescences et les tiges de la plante. Par ailleurs, une étude dans le temps, montre que les échantillons C et D récoltés les mêmes jours, respectivement, à Dassasgho et Kossodo, ont des rendements différents en huile essentielle, mais ont qualitativement la même composition chimique. Elles ont comme constituants principaux : la pipéritone, le δ -2-carène, le limonène, l'élémol et les α , β et γ udesmols. Toutefois, pour un échantillon donné (C ou D), la proportion des différents constituants varie dans les huiles essentielles des feuilles, des tiges et des inflorescences. Ces observations montrent l'influence de la période de récolte et des facteurs du milieu, sur le rendement et la qualité de l'huile essentielle. La proportion de ces constituants, donc la qualité de l'huile essentielle semble être fonction des réactions dans le temps, au sein de la plante.

Cymbopogon schoenanthus du Burkina Faso est très riche en huile essentielle (rendement varie entre 4 et 6,8 2 %) et la période optimale de récolte se situe pendant la feuillaison. Cette plante peut donc être exploitée, puisqu'elle est une source naturelle de pipéritone et la biomasse végétale est abondante sur l'ensemble du territoire. Rappelons que la pipéritone, le composé majoritaire de son essence est utilisé comme précurseur dans la synthèse du menthol, lui-même employé dans la confiserie, les boissons et dans l'industrie du tabac (pour parfumer les cigarettes)^[147].

Bien que n'ayant fait l'objet d'aucune étude, l'huile essentielle de *C. giganteus* du Burkina Faso, se révèle avoir qualitativement la même composition chimique que les huiles essentielles déjà analysées provenant de la même espèce ^[7, 111, 112, 113] ou des espèces de la même famille ^[153a, 153b, 154, 155].

L'identification des constituants de l'huile essentielle de *C. citratus* du Burkina Faso confirme les résultats obtenus par d'autres auteurs ^[7, 120-129]. Les résultats de cette étude permettent de classer, l'huile essentielle de l'échantillon étudié dans le type à "cital" et confirme l'importance de *C. citratus* comme source de citral.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le domaine de l'analyse des huiles essentielles, la chromatographie capillaire, avec une détection à ionisation de flamme, à travers la rationalisation des temps de rétention en indice de KOVATS ^[39] est un outil non encore égalé. Couplée à la spectrométrie de masse (CPG/ MS), à la chromatographie en phase liquide à haute performance (CPG / HPLC) ou à la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (CG/FTIR), elle est d'une admirable efficacité.

À l'aide de la chromatographie en phase gazeuse et de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, nous avons déterminé la composition chimique des huiles essentielles de six plantes aromatiques du Burkina Faso : *Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* Poit., *Ocimum americanum* Linn., *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng., *Cymbopogon giganteus* Chiov. et *Cymbopogon citratus* D.C. Nees. Les trois premières espèces végétales appartiennent à la famille des Lamiaceae et les trois autres à celle des Poaceae.

Des facteurs génétiques et du milieu ont été rapportés comme étant à l'origine des variations de composition chimique des huiles essentielles des espèces végétales ^[1, 51]. Nos résultats reflètent bien cette grande disparité de composition chimique généralement rencontrée dans le domaine de l'étude des huiles essentielles. En effet, à l'examen des résultats des extractions et des analyses, il apparaît que les rendements en huile essentielle et les compositions chimiques varient considérablement d'une famille à l'autre et dans une même famille d'une espèce à l'autre. Pour une espèce donnée, le rendement est variable au cours du cycle végétatif de la plante. Il varie aussi en fonction de l'organe de la plante et du lieu de récolte. La composition chimique est également variable quantitativement et/ou qualitativement en fonction du lieu de récolte et au cours du développement de la plante.

La similitude de composition chimique est très marquée dans les espèces de la famille des Lamiaceae. En effet, les huiles essentielles des espèces de cette famille ont en commun de nombreux constituants dont seules les proportions varient d'une essence à l'autre. Leurs huiles essentielles se caractérisent par une forte proportion de monoterpènes. Toutefois, les huiles essentielles des espèces du genre *Hyptis* contiennent une teneur élevée en sesquiterpène, notamment en β -caryophyllène (6,6 à 17,1 %). En effet, l'huile essentielle de l'échantillon A de *H. spicigera* est en majorité constituée de : α -pinène (43,9%), β -pinène (15,0 %), α -phellandrène (9,0 %), β -caryophyllène (6,6%), sabinène (6,0 %) et de 1,8-cinéole (5,7%). L' α -pinène (33,6 %), le β -pinène (12,5 %), l' α -phellandrène (5,7 %), le β -caryophyllène (17,1 %), le 1,8-cinéole + limonène (6,8 %), le terpinolène (4,4 %) et l'époxycaryophyllène (3,5 %) sont les principaux constituants de l'essence de l'échantillon B.

Les composés majoritaires de l'huile essentielle de l'échantillon A de *H. suaveolens* sont : le sabinène (36,0 %), le β -caryophyllène (17,0 %), terpinolène (7,3 %), le β -pinène (5,5 %), le

terpinèn-4-ol (5,3 %) et le limonène (4,9 %), alors que l'échantillon B est composé majoritairement de sabinène (38,9 %), de β -pinène (10,2 %), de terpinèn-4-ol (9,9 %), de β -caryophyllène (8,5 %) de p-cymène (4,4 %), de terpinolène (4,3 %) et de 1,8-cinéole (4%).

Les composés majoritaires de l'huile essentielle de l'échantillon A de *Ocimum americanum*, récolté à Ouagadougou à partir de la plante croissant à l'état naturel, sont le 1,8-cinéole (60,2 %), l' α -terpinéol (6,5 %) et le β -pinène (5,7 %). L'échantillon B a été récolté à Bobo-Dioulasso, à partir de la plante croissant également à l'état naturel. Son essence est constituée en majorité de 1,8-cinéole (45,1 %, avec une faible quantité de limonène), de camphre (18,6 %), d' α -pinène (6,1 %) et de β -pinène (4,2 %). L'échantillon C a été cultivé sur un sol enrichi en fumure, à partir des graines de l'échantillon A. Le 1,8-cinéole (59,9 %), le camphre (8,1 %), le β -pinène (5,3 %) et l' α -pinène (4,5 %), sont les principaux constituants de l'huile essentielle de cet échantillon. La teneur relativement élevée en camphre des huiles essentielles des échantillons A et B, pourrait être plutôt liée à des facteurs du milieu (nature du sol par exemple) qu'à des facteurs génétiques, puisque l'échantillon C a été cultivé à partir des graines de l'échantillon A, dont l'huile essentielle ne contient pas de camphre.

Différentes techniques sont utilisées pour fractionner les huiles essentielles : méthodes physiques (distillation sous pression réduite, chromatographie sur colonne) et chimiques (combinaison bisulfite).

Le fractionnement par distillation sous pression réduite, de l'huile essentielle de *Ocimum americanum* nous a permis d'obtenir des fractions dont la teneur en hydrocarbures monoterpéniques (α et β -pinènes) diminue et dont celle en composés monoterpéniques oxygénés (1,8-cinéole et camphre) augmente. Cette méthode nous a surtout permis d'obtenir une fraction enrichie en 1,8-cinéole, composé possédant des propriétés insecticides.

La chromatographie sur colonne de deux des fractions riches en monoterpènes oxygénés a permis d'obtenir deux autres fractions très riches en camphre, respectivement à 92 et 88 % (pureté vérifiée par chromatographie en phase gazeuse).

Les huiles essentielles des espèces de la famille des Poaceae contiennent, tout comme celles des espèces de la famille des Lamiaceae, une forte proportion de composés monoterpéniques. En outre, il existe très peu de constituants communs à leurs huiles essentielles.

Dans la famille des Poaceae, nous avons tout d'abord analysé les huiles essentielles des feuilles (échantillon A) et des inflorescences (échantillon B) de la plante sèche, puis les essences des feuilles, des tiges et des inflorescences des échantillons C et D de *C. schoenanthus*, récoltés les mêmes jours, au cours du développement de la plante, de juillet à décembre 96. Tous ces échantillons ont été récoltés à la périphérie de la ville de Ouagadougou notamment à Dassasgho et à

Kossodo. A titre comparatif et dans le but de vérifier l'existence de chimiotype, nous avons également analysé, l'huile essentielle de l'échantillon E, récolté à Bondukuy, localité située à environ 280 Km de Ouagadougou, à l'ouest du Burkina Faso.

Les résultats de l'extraction montrent que l'échantillon A est plus riche en huile essentielle que l'échantillon B et que l'échantillon C contient beaucoup plus d'huile essentielle que les échantillons D et E, aux cycles végétatifs pourtant très exubérants. Les conditions de milieu semblent constituer des contraintes imposées à la plante et auxquelles elle va répondre soit par une exubérance (sol riche en nutriment) au dépens de la synthèse des métabolites secondaires que constituent les huiles essentielles (cas des échantillons D et E), soit par une modération de la croissance de la plante (sol latéritique) en faveur de la synthèse de l'huile essentielle (cas de l'échantillon C). Le rendement en huile essentielle de *C. schoenanthus* dépend de l'organe de la plante et de la période de récolte. Les feuilles et les inflorescences sont les organes les plus riches en huile essentielle et la période optimale de récolte se situe pendant la feuillaison.

Les analyses chromatographiques montrent que la composition de l'huile essentielle de *C. schoenanthus* est qualitativement stable. En effet, les essences des échantillons A, B, C, D et E ont qualitativement la même composition chimique, avec comme constituants majoritaires : la pipéritone, le δ -2-carène et l'élémol. Cependant, des variations importantes existent au niveau quantitatif. L'origine de ces fluctuations reste difficile à définir. Il semble qu'un polymorphisme chimique (lui-même lié aux conditions du milieu) y joue un rôle. Etant donné, d'une part, la richesse de cette plante en huile essentielle (en août, le rendement en huile essentielle de l'échantillon A est de 6,82 %) et d'autre part son abondance sur le territoire burkinabè, elle peut être exploitée. Cela d'autant plus que la pipéritone, son constituant principal, est utilisé dans la synthèse du menthol.

L'huile essentielle obtenue avec un rendement de 0,5 %, à partir des feuilles de *Cymbopogon giganteus* est constituée du limonène (17,0 %) et de ses dérivées d'oxydation : trans-p-mentha-1(7), 8-diène-2-ol (17 %), cis-p-mentha-1(7), 8-diène-2-ol (16,5 %), trans-p-mentha-2,8-diène-1-ol (13,8 %) et cis-p-mentha-2,8-diène-1-ol (9,3 %), isopipériténol I (4,5 %) et isopipériténol II + trans-carvéol (5,8 %).

L'huile essentielle de *C. citratus* du Burkina Faso est "de type citral". En effet, le néral (33,0 %), le géraniol (44,6 %) et le limonène constituent les principaux constituants identifiés dans celle-ci. Cette essence est obtenue à partir des feuilles avec un rendement de 1,4 %. Rappelons que l'essence de "type citral" est un produit qui est déjà commercialisé.

Comme produits du métabolisme secondaire de la plante, il a été rapporté que la plupart des huiles essentielles sont des produits ayant des propriétés pesticides.

Nos travaux antérieurs ^[26a, 26b] ont effectivement montré que les huiles essentielles de *H.*

spicigera et *H. suaveolens* sont des insecticides pour la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fabricius). Sans écarter la possibilité de synergie de certains constituants mineurs, cette activité biologique pourrait être attribuée à la présence des pinènes, du β -caryophyllène et de l'époxy-caryophyllène, molécules dont les propriétés insecticides sont connues ^[1,22,133]. Les rendements en huile essentielle de ces deux plantes sont faibles (au maximum 0,52 %), mais les propriétés insecticides de leurs huiles essentielles peuvent être mises à profit en vue d'une exploitation.

La présence du 1,8-cinéole seul ou du 1,8-cinéole et du camphre dans de *O. americanum* pourrait expliquer les propriétés insectifuges ou insecticides de son huile essentielle, rapportées dans la littérature ^[139] et justifier l'utilisation de cette plante dans les systèmes traditionnels de conservation des récoltes.

Les propriétés insecticides de la pipéritone, composé majoritaire de l'huile essentielle *C. schoenanthus* ne sont pas encore connues, cependant celles vis à vis de *Callosobruchus bruchidis* de l'huile essentielle de cette plante ont été signalées par KOUMAGLO et al. ^[80]. Ce composé pourrait avoir des propriétés antiseptiques ce qui justifierait l'utilisation de la plante dans les thérapeutiques traditionnelles.

A l'examen des résultats des extractions, il apparaît que pour chaque espèce végétale, tous les organes contiennent une huile essentielle. Cependant, pour chacune de ces espèces végétales, l'essentiel de l'essence se trouve principalement dans les feuilles et les inflorescences, les tiges étant pauvre en huile essentielle. Les feuilles s'avèrent plus riches en essence que les inflorescences. L'étude dans le temps montre que pour les espèces *H. suaveolens* et *C. schoenanthus* les périodes favorables de récolte se situent respectivement après la floraison et pendant la feuillaison. Au cours de cette étude, il nous apparaît également que les espèces végétales croissant sur des sols latéritiques donnent les meilleurs rendements en huile essentielle. Cependant, dans le cas des échantillons C et D de *C. schoenanthus*, l'étude dans le temps montre que la qualité de l'huile essentielle n'est pas affectée. Par contre dans le cas de *O. americanum* l'étude dans l'espace montre que les conditions du milieu influencent la teneur en camphre (donc la qualité de l'essence).

Au cours de l'analyse des huiles essentielles des six espèces végétales aromatiques, réparties dans deux familles, nous avons identifié plus de 70 constituants différents (figures 23, 27, 32, 50, 51, 52 et annexe I), dont les abiétadiènes 1 et 2 pour la première fois dans l'huile essentielle de *H. suaveolens* du Burkina Faso. Ces résultats témoignent l'intérêt scientifique et la richesse potentielle des plantes aromatiques de la flore Africaine et du Burkina Faso en particulier.

Les propriétés insecticides des huiles essentielles incitent à la mise au point de formulations simples et rend attractive l'étude des composés organiques non volatils contenus dans les plantes aromatiques qui, comme les huiles essentielles ont une fonction défensive.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **BRUNETON, J. (1993)**. Huiles essentielles, dans Pharmacologie : phytochimie, plantes médicinales, 2^e éd., Éd. Lavoisier, Paris, 406-466.
- 2- **MOORE, J.A.(1975)**, Chimie Organique Moderne, Éd. Hrwltée, Montréal, Canada, 343-345.
- 3- **RIBÉRAU-GAYON, P. (1968)**. Les composés phénoliques des végétaux, Éd. Dunod, Paris, 143 p.
- 4- **NACRO, M. et MILLOGO-RASOLODIMBY, J. (1993)**. Plantes tinctoriales et plantes à tanins du Burkina Faso, Éd. Scientifika, Amiens, 86 p.
- 5- **KOUDA-BONAFOS, M. (1998)**. Étude de molécules à propriétés pesticides, tannantes et/ou colorantes. Thèse de Doctorat d'État, Université de Ouagadougou, 141 p.
- 6- **PARIS, R. et MOYSE, H. (1976)**. Précis de matière médicale, tome 1, Edition Masson, 196-200.
- 7- **OUAMBA, J. M. (1988)**. Valorisation Chimique des Plantes Aromatiques du Congo : Extraction et analyse des huiles essentielles, Oximation des aldéhydes naturels, Thèse de Doctorat d'État, Université de Montpellier II, 340 p.
- 8- **BOUGERRA, M. L. (1985)**. Les poisons du tiers monde, la Découverte / Science et Société, Paris, 265 p
- 9- **THIAM, A. et DUCOMMUN, D. (1993)**. Protection naturelle des végétaux en Afrique, ENDA- Editions, Dakar.
- 10- **JACOBSON, M. (1989)**. Botanical pesticides, past, présent and future In Insecticides of Plant Origin, ACS symposium Series 387, 1.
- 11- **LAWRENCE, B.M. (1992)**. Chemical Components of Labiatae oils and their exploitation, Harley and Reynolds T. (Editors), Advances in Labiatae Science, Royal Botanic Gardens, 339-436

- 12-MILLOGO RASOLODIMBY, J. ; NACOULMA, O. et SAMATE, A.D. (1994).** Les utilisations des Poaceae aromatiques du Burkina Faso, *Revue Med. Pharm. Afr.*, Vol., 11-12, 157-165.
- 13-BAUER, K. and DOROTHEA, G. (1985).** Common Fragrance and Flavor Materials : préparation, properties and uses, VCH (Verlagsgesellschaft), Federal republic of Germany, 1-3.
- 14- WALLACH, O. (1914).** "Terpene and camphor", 2nd Èd., Vit. Leipziz, In BRUNETON, J. (1993). *Huiles essentielles, dans Pharmacologie : phytochimie, plantes médicinales*, 2è éd., Éd. Lavoisier, Paris, 406-466..
- 15- GLASBY, J.S.(1982),** "Encyclopédia of the terpenoids", Wiley, New york.
- 16- AUGER, P. and GRMEK, M.D. (1973).** *Encyclopédie internationale des Sciences et techniques*, Vol.10, OGAM press, 396-399.
- 17- CROTEAU, R. (1986).** "Biochemistry of monoterpenes and sesquiterpènes of the essential oils. Herbs, spices and medicinal plants", *Recent avances in Botany, Horticulture and Phamacology*, Vol.1, Craker, Simon, Oryx press, phoenix..
- 18- FAHN, A. (1979).** *Secretory tissues in plants*, Academic Press, New york, 158-222.
- 19-GÉHU-FRANK, J. ET GÉHU, J. M. (1994).** *Schémas de Botanique systématique Illustrée. III.-Organisation Générale des Plantes Vasculaires*, Bailleul, 22.
- 20- BONNER, M.J.(1954).** *Arch. Biochem. Biophys.*, 49, 343.
- 21- EVENARI, M. (1949).** *Germination inhibitors*, *Bot. Rev.*, 15, 153.
- 22- FISCHER, N. L. (1986).** The fonction of mono and sesquiterpenes as plant germination and growth regulators. In Putman, A. and Tang, C.S. (Eds), *the Science of allelopathy*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 203-218.

- 23- SPENCER, G.F. ; Wolf, R.B. and WEISLER, D. (1984).** J. Nat. Pro., **47**, 730-732.
- 24- STIPANOVIC, R.D. ; WILLIAMS, H.J. and SMITH, L.A. (1986).** ACS symp. Ser., **296**, 79-94.
- 25- BRIDGES, J.R. (1987).** Effects of terpenoid compounds on growth of symbiotic fungi associated with the southern pine beetle, *Phytopathology*, **77**, 83-85.
- 26a- DJIBO, A.K. (1993).** DEA de Chimie, Université de Ouagadougou.
- 26b- DJIBO, A.K. ; SAMATE, A.D. ; KOUDA-BONAFOS, M. et NACRO, M. (1994).**
Activité d'huiles essentielles de Lamiaceae sur la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus* Fab.). Communication au séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le sahel, du 1 au 9 avril à Dakar, Sénégal.
- 27-THIERY, B. ; FRANCIS, P., et RENE, B. (1988).** Extraction des huiles essentielles, *Chimie et Technologie, Informations Chimie*, **298**, 179.
- 28-PARE, J.R.J. ; BELANGER, J. and SIGOUIN, M. (1989).** "Novel Technology in the Extraction of Essential Oils" , colloque sur les produits naturels d'origine végétale, ACFA, du 15 au 19 mai à Montréal, Canada.
- 29- UDAYA-SANKAR, K. (1989).** Studies of Physicochemical Characteristics of volatile oil from pepper (*pepper nigrum*) extracted by supercritical carbon dioxide, *J. Sci. Food., Agric.*, **48**,483-493.
- 30-HAWTHORN E, S.B. ; RIEKKOLA, M.L. ; SERENIUS, K. HOLM, Y. ; HILTUNEN, R. and HARTONEN, K. (1993).** Comparaison of hydrodistillation and supercritical fluide extraction for the determination of essential oils in aromatic plants. *J. Chrom.*, **634**, 297-308.
- 31- KAISLI, K. ; BERTALAN, G. ; HEIKKI, K.(1994).** Volatile Components and Odor Intensity of four phenotypes of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), *J. Agric. Food Chem .*, **42**, 776-781

- 32-TATEO, F. and CHIZZIMI, F. (1989).** The Composition and Quality of supercritical CO₂ extracted Cinnamon. *J. Essential Oil Res.*, **1**, 165-168.
- 33- KERROLA, K. AND KALLIO, H. (1993).** Volatile compounds and odor characteristics of carbon dioxide extracts of Coriander (*Coriander sativum* L.) fruits. *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 785-790.
- 34- AFNOR :** "Recueil des normes françaises de normalisation sur les huiles essentielles", Association Française de Normalisation, Paris , 1986.
- 35- ISO :** International Standard Organisation, **279**, 1981.
- 36-COLLIN, G. (1992).** Réunion Internationale sur la valorisation des Productions végétales : cas des produits aromatiques et des huiles essentielles, Kigali, 26-29 février, 331 p.
- 37- GAGNON, H. ; JEAN, F. I. et COLLIN, G. (1995).** La chromatographie Gazeuse sur colonnes capillaires (CG) : Usages des Indices de Kovats (IK), 3^e Colloque, Produits Naturels d'Origine Végétale, Saint-Jean- sur-Richelieu, 18-24 octobre, Canada, 256-264.
- 38- JENNINGS, W. and SHIBAMOTO, T. (1980).** Qualitative Analysis of flavor and Fragrance Volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography, Academic Press, New York, 472 p.
- 39- KOVATS , E. SZ. (1965).** in "Advances in Chromatography ", **1**, 229-247.
- 40-CASANOVA, J. and CORTICHIATO, M. (1992).** *Analysis*, **20**, 51-58
- 41- LAWRENCE, B.M. (1968).** *J. Chromatogr.*, **38**, 353.
- 42- MEEHAN, T.D. and COSCIA, C.J. (1973).** *Biochem. Biophys. Res. Common*, **53**, 1043.
- 43- BAMBAGIOTTI, A.M. ; VINCIERI, F.F. and COSI, G. (1972).** *Phytochemistry*, **11**, 1455.

- 44- KARAWYA, M.S. ; BALBAA, S.I. and HIFNAWY, M.S. (1971). *J. pharm. Sci.*, **60**, 381.
- 45- COSCIA, C.J. (1972). *Chromatography of Terpenoids*, *J. Chrom.*, 575.
- 46- MAHMOUT, Y. ; BESSIERE, J.M. and DOLMAZON, R. (1993). *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 277-279.
- 47- LAMATY, G. ; MENUT, C ; BESSIERE, J.M. ; OUAMBA, J.M. and SILOU, T. (1990). *Phytochemistry*, vol. 29, N°2, 521-522.
- 48- FORMACEK, K. and KUBECZKA, K.H. (1982). *Essential Oils Analysis by Capillary Gas Chromatography and carbon-13 NMR Spectroscopy*, John Wiley & Sons, New York, 373.
- 49- ARPINO, P. ; PREVÔT, A. ; SERPINET, J. ; TRACHANT, J. ; VERGNOL, A et WITIER, P. (1995). *Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse*, 4^e édition, 699 p.
- 50- LOBSTEIN, A. ; FREY, M.L. et ANTON, R. (1983). *Altérations et conservation des huiles essentielles*, *Ann. Pharm. Franç.* **41** (1), 69-75.
- 51- BONIN, G. ; GARZINO, S. ; ROCHE, P. ; CRETIN, F. and SAUVAN, F. (1994). *Relation entre la production d'huiles essentielles et les facteurs du milieu*, 11^{ème} Journées Internationales Huiles essentielles, 1-3 Septembre, Digne-les bains, France, *RIVISTA ITALIANA*, EPPOS, Numéro Spéciale, Gennaio 95, 710-715.
- 52- LUZ, A.I.R. ; ZOGHBI G.B. ; RAMOS, L.S.; MAIA, J.G.S. and DASILVA, M.L. (1984). *J. Nat. Prod.*, **47**, 745.
- 53- GUENTHER, E. (1944). *The four types of oil of Basil*. In LAWRENCE, B.M. (1992). *Chemical Components of Labiatae oils and their exploitation*, Harley and Reynolds T. (Editors), *Advances in Labiatae Science*, Royal Botanic Gardens, 339-436

- 54- SOBTI , S.N. and PUSHPANGADAN, P. (1982).** Studies in the genus *Ocimum* : cytogenetics, breeding and production of new strains of economic importance. In LAWRENCE, B.M. (1992). Chemical Components of Labiatae oils and their exploitation, Harley and Reynolds T. (Editors), Advances in Labiatae Science, Royal Botanic Gardens, 339-436
- 55 - LAWRENCE, B. M. (1981).** The existence of infraspecific differences in specific genera in the Labiateae family. Proceedings VIIIth International Congress of Essential Oils, Fedarom, Grasse, 118-131.
- 56- SAMATE, A.D. ; MILLOGO-RASOLODIMBY, J. et NACRO, M. (1992).** *Ocimum basilicum*, Lamiaceae à huile essentielle, Réunion Scientifique internationale sur la Valorisation des Productions Végétales : cas des produits aromatiques et des huiles essentielles, Kigali, 26-29 février, 331 p.
- 57-LE QUERE, J.L. ; LATRASSE, A. (1990).** J. Agric. Food Chem ., **38**, 3-10
- 58- AUGER, P., GRMEK, M.D. (1972).** Encyclopédie internationale des Sciences et techniques, Vol.7, OGAM press, 436-448.
- 59- NACOULMA-OUEDRAOGO, O. (1996).** Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, tome 2, Université de Ouagadougou, 285 p.
- 60-HUTCHINSON, J. and DALZIEL, J.M. (1963).** Flora of West Tropical Africa, 2nd edn., Crown agents, London, Vol. 2, 446.
- 61-KERHARO, J. et ADAM, J.G. (1974).** La Pharmacopée Sénégalaise Traditionnelle : plantes médicinales et toxiques, Ed. Vigot Frères, Paris.
- 62-GARBA, M.; IKHIRI, K. et SAADOU, M.** La pharmacopée au Niger, CELHTO / P/ 1, Niamey, mai, 1984.

- 63-ONAYADE, O.A. ; LOOMAN, A. ; SHEFFER, J.J.C. and BAERHEIM SVENDSEN, A. (1990).** Composition of the herb essential oil of *Hyptis spicigera* Lam., Flavour and Fragrance journal, Vol. 5, 101-105.
- 64- LAMBERT, J.D.H. ; GALE, J.; ARNASON, J.T. and PHILOGENE, B.J.BR. (1985).** Insect. Sci. Appl., 6, 167.
- 65-CLEVINGER, J.F. (1928).** Apparatus for the determination of volatile oil. J. Am. Pharm. Assoc., 17, 346.
- 66-MAARSE, and VANS OS, F.H.L. (1973).** Flavour Ind., 4, 481.
- 67-KINI, F.B. (1993).** Contribution à l'étude phytochimique des plantes médicinales du Burkina Faso, Thèse de Doctorat 3^e cycle, Université de Ouagadougou, 122 p.
- 68-GRINDLEY, D.N. (1950).** J. Sci; Food Agric., 1, 152.
- 69- ISHIRA, N. ; NABETA, K. and SUGISAWA, H. (1983).** Phytochemistry, 23, 2062.
- 70-MORTON, J.K. (1963).** Flora of west tropical Africa, 2, 162.
- 71-EZZIDINE, A. ; FALL, I.L.O. (1990).** Activité antibactérienne des feuilles et fines tiges de *Hyptis suaveolens* Poit. Bull. Méd. Trad. Pharm. Vol. 4, N° 2, 129-159.
- 72-MANCHAND, P.S. ; WHITE, J.D. ; FAYOS, J. and CLARDY, J. (1974).** J. Org. Chem., 39, 2306.
- 73-SALUJA, A.K. ; SANTANI, D.D. and SINGH, D.M. (1984).** J. Nat. Prod. 47, 739.
- 74-MUKHERJEE, K.S. ; MUKHERJEE, R.K. and GHOSH, P.K. (1984).** J. Nat. Prod. 47, 377.

- 75-NAYAK, U.G. and GUHA, P.C. (1952)** . Essential oil from *Hyptis suaveolens*, J. Indian, Chem. Soc., **29**, 221-250.
- 76- PANT, A.K. ; SINGH, A.K. ; MATHELA, C.S.; PARIHAR, R. ; DEV., V. ; NEROP, A.T. and BOTTINI, A.T. (1992)**. Essential oil of *Hyptis suaveolens* Poit., J. Essent. Oil Res., **4**, 9-13.
- 77-MALLAVAPURU, G.R. ; RAMESH, S. ; KAUL, P.N. ; BHATTACHARYA and RAJESWARA RAO, B.R. (1993)**. The essential oil of *Hyptis suaveolens* Poit., J. Essent. Oil Res., **5**, 321-323.
- 78-TANOLNITZ, B.D . ; JENAK, S.A. and SMITH, D.M. (1984)**. J. Nat. Prod., **47**, 739.
- 79-DIN, L.B. ; ZAKARIA, Z. ; SAMSUDIN, M.W. ; BROPHY, J. and TOIA, R.F. (1988)**. Composition of the steam volatile oil from *Hyptis suaveolens* Poit., Pertanika, **11**, 239-242.
- 80-IWU, M.M. ; EZENGUA, C.O. ; OKUNJI, C.O. ; SANSON, D.R. and TEMPESTA, M.M. (1990)**. Antimicrobial activity and terpenoids of the essential oil of *Hyptis suaveolens*. Int. J. Crude Drug. Res., **28**, 73-76.
- 81-FUN, C.E. and BAERHEIM SVENDEN, A. (1990)**. The essential oil of *Hyptis suaveolens* Poit. Grown on Aruba, Flav. Fragr. J. **5**, 161-163.
- 82-KONE, M.(1994)**. Contribution à l'étude des plantes médicinales : Cas de *Hyptis suaveolens* Poit., DEA , Université de Ouagadougou, 44 p.
- 83-KOUMAGLO, K.H. ; MOUDACHIROU, M. ; ADDAE-MENSAH, I. ; GARNEAU, F.X.; GAGNON, H. and JEAN, F.I. (1994)**. 3^e Colloque, Produits Naturels d'Origine Végétale, Saint-Jean- sur-Richelieu, 18-24 octobre, Canada.
- 84.PANDEY, D.K. ; TRIPATHI, R.D. and DIXIT, S.N. (1990)**. Fungitoxic and Phytotoxic properties of the Essential Oil of *Hyptis suaveolens*. Zeitschrift für pflanzen Krankheiten und pflanzen, **89**, 6, 344-349.

- 85-SOBTI, S.N. ; PUSHPANGADAN, P. and ATAL, C.K. (1976).** "Genus *ocimum*. A potentiel source of new essential oils ", *Indian Perfumer*, Vol. XX, part. I, 54-68.
- 86- SINHA, G.K. and GULATI, B.C. (1990).** Study of Essential oil from oil *Ocimum americana* L. *Phillippine Journal of Science*, Vol. 119, N° 4, 347-355.
- 87-SARIN, Y.K. ; AGARWAL, S.G. ; THAPPA, A. K ; SINGH, K. KAPAHI, B.K. (1992).** A high yielding citral-rich train of *Ocimum americana* L. from India, *J. Essent. Oil Res.* **4**, 515-519.
- 88- NTEZURUBANZA, L. ; SCHEFFER, J.J.C. and LOOMAN, A. (1985).** Composition of the essential oil of *Ocimum canum* Sims, grown in Rwanda, *Pharm. Weekbl. Sci.* Vol. 7, 273-276.
- 89- PATON, A. (1992).** A Synopsis of *Ocimum* L. (Labiatae) in Africa, *Kew Bulletin*, 47(3), 403-435.
- 90- MENUT, C. et VALET, G. (1985).** Etude de la composition chimique de l'huile essentielle d'une plante aromatique cultivée au Cameroun : *Ocimum gratissimum*, *Ann. fac. Sc. Biol. Biochim.* III, N° 3, 91-95.
- 91- OLIVER - BEVER, B. (1986).** *Medicinal plants in tropical west Africa*, 1st Ed, Cambridge University Press, London.
- 92- XAASAN, C.C. ; CABDULRAXMANN, A.D. ; PASSANNANTI, S. ; PIOZZI, F. and SCHMID, J.P. (1981).** Constituents of the essential oil of *Ocimum canum*. *J. Nat. Prod.*, **44**, 752-753.
- 93- UPADHWAY, R.K. ; MISRA, R.M. and SINGH, G. (1991).** Sesquiterpenes alcohols of the copaene series from essential oil of *Ocimum americana*. *Phytochemistry*, **30**, 691-693.
- 94-BECKELEY, V.A. (1936).** Essential oils II. Oils from Indigenous plants. *East Afric. Agric.*, 468-470.

- 95- CHOPRA, R.N.; CHOPRA, I.C.; HANDA, K.L. and KAPU, L.D. (1938).** Chopra's Indigenous Drugs of India, Vol.1, Dhur and Sons Edit. Calcuta, 2nd Ed., Inde.
- 96- THOMSEN, E.G. (1938).** Camphor from herbs . Drug Cosmetic Ind., 546-549.
- 97-XAASAN, C.C. ; CABDULRAXMANN, A.D. ; PASSANNANTI, S.; PIOZZI, F. and SCHMID, J.P. (1981).** Constituents of the essential oil of *Ocimum canum*, Lloydia, **44**, 752-753.
- 98-GUPTA, S.C. and SOBTI, S.N. (1990).** Inheritance pattern of methylchavicol and citral in *Ocimum americanum*, Indian Perf., 34 (4), 253-259.
- 99- GULATI, B.C. ; SHAWL, A.S. ; GARG, S.N. ; SOBTI, S.N. and PUSHANGADAN, P. (1977).** Essential oil of *Ocimum canum* Sims (linalool type), Indian Perfum, **21**, 21-25.
- 100- LAWRENCE, B.M. (1989).** Labiatae oils-mother nature's chemical factory, International Congress of Essential Oils, Fragrances and Flavors, New Delhi, 71 p.
- 101- EKUNDAYO, E. ; LAAKSO, I. and HILTUNEN, R. (1989).** Constituents of the volatile of oil from leaves of *Ocimum canum* Sims. Flav. Frag. J. **4**, 17-18.
- 102- RAKSHIT, J.N. (1938).** *Ocimum canum* oil of north India. Perfumery Essent. Oil Record, **29**, 402.
- 103- TAYAL, J.N. and DUTT, S. (1938).** Chemical Examination of the Essential Oil of *Ocimum*. Proc.Nat. Acad. Sc., India, **8**, 120-125.
- 104- BASLAS, K.K. (1968).** Chemistry of Indian Essential Oils Part V. Perfum Essent. Oil Rec., **59**, 21-22
- 105- THAPPA,R.K.; BRADU, B.L.; VASHIST, V.N. and ATAL, C.K. (1971).** Flavour Ind. **2**, 41.

- 106- AHMED, Z.F. ; ROHAYEM, H. and FAHMY, I.R. (1953). Fr. Pharm., 10, 423.
- 107- ABDEL-MONEIM, F.M. ; AHMED, Z.F. ; FAYEZ, M.B.E. ; GHALEB, H. (1969).
Planta Med., 3, 210.
- 108- LOCKSLY, H.D. ; FAYEZ, M.B.E. ; RADWAN, A.S. ; CHARI, V.M. ; CORDELL,
G.A. and WAGNER, H. (1982). Planta Med., 25, 20.
- 109- SIDIQUI, M.S. ; MISRA, L.N. ; NIGAM, M.C. and IBRAHIM ABU-AL-FUTUH, M.
(1980). Sonderdruck aus Parfümerie and Kosmetik, 61, 419-420.
- 110- ASHOK, K.S. and ALDO, T. (1993). "Essential Oil Composition of Three *Cymbopogon*
Species of Indian Thar Desert" J. Ess. Oil Res., 5, 639-643.
- 111- PROENCA DA CUNHA ; CARDOSO-DOVALE, J. (1973). Biol. Fac. Farm. Univ.
Coimbra, Ed. Cient. 33, 1.
- 112- POPIELAS, C. M. ; KEITA, A. ; FOURASTE, I. and BESSIÈRE, J.M. (1991). The
essential oil of *Cymbopogon giganteus*. Planta Med., 57, 586-587.
- 113- CHALCHAT, J. C. ; GARRY, R.P. ; HARAMA, M. and SIDIBÉ, L. (1998). A study of
aromatics plants in Mali, Chemical composition of essential oils of two *Cymbopogon* varieties :
C. citratus and *C. giganteus* Rivista Italiana EPPOS, (Spec. Num), 741-752
- 114- CARDOSO-DOVALE, J. B. ; PROENCA DA CUNHA, A. (1967). Bol. Esc. Farm. Univ.
Coimbra, Ed. Cient. 27, 17.
- 115- BHATTACHARIA, S.C. (1970). J. Indian Chem. Soc. 47, 307.
- 116- OLANIYI, A.A. ; SOFOWARA, E.A. and OGUNTIMHIN (1975). Planta Med., 28,
186.

- 117-HANSAN, S.W. ; CRAWFORD, B.M. ; KOKER, M.E.S. and MENEZES, F.A. (1976).
Phytochemistry, **15**, 1074.
- 118- CRAWFORD, B.M. ; HANSON, S.W. and KOKER, M.E.S. (1975). Tetrahedron Lett.,
3099.
- 119- ONAWUNMI, O. ; YISAK WOLDE, A.B. and OGUNLANA, E.O. (1984). Journal
Ethnopharmacology, **12**, 279.
- 120- BRAZIL DA SILVA, G.A. and PAUER, L. (1971). Rev. Brasil Farm., **52**, 193.
- 121- DA SYLVA, M.G. (1959). Mfg. Chemist, **30**, 415.
- 122- YASUJI, F.K. (1951). Aromatics, **23**, 27.
- 123- MANZOUR-I-KHUDA ; OMAR FARUQ, M. ; YUSSUUF, M. ; JASIM UDDIN CHOW
DHUNY ad MUJIBUR RAHMAN KHAN, N.A. (1982). J. Bangladesh Acad. Sci., **6** (1-2), 195.
- 124- OLIVEROS-BELARDO, L. ; AUREUS, E. (1979). Int. Cong. Essent. Oils, **7**, 166
- 125- ROVESTI, P. and VARIATI, G.L. (1960). France et ses parfums, **3**, 39.
- 126- RABHA, L.C. ; BARNAH, A.K. and BORDOLI, D.N. (1979). Indian Perfum, **23**, 178.
- 127- EKUNDAYO, O. (1985). Fitoterapia, **56** (6), 339.
- 128- TALALAJ, S. (1984). West Afric. Pharmacist, **6**, 75.
- 129- NEYBERGH, A.G. (1953). Bull. Agri. Congo belge, **44**, 319.
- 130- CORREIA-ALVES, A. ; NOGUEIRA PRISTA, L. and NOGUEIRA DE SOUSA,
GARCIA DE ORTA, A. (1980). Garcia de orta, **8**, 629.

- 131- ABEGAZ, B. ; YOHANNES, P.G. and DIETER, R.K. (1983). J. Nat. Products, **46** (3), 424.
- 132- PICKLES, E. (1910). Circ. Agri. J. Roy. Botan. Gardens Ceylon, **15** (12), 115.
- 133- MESSER, K. ; CORMICK, M. C. ; SUNJAYA, H.H. ; HAGEDORN, F. ; TUMBEL, and MEINWALD, J. (1990). J. Chem. Ecol., **16** (12), 3333.
- 134- PUTIEVSKI, E. ; RAVID, U. ; DUDAI, N. (1986). The influence of season and harvest frequency on essential oil and herbal yields from pure clone of sage (*Salvia officinalis*) grown under cultivated conditions, J. Nat. Prod., **49** (2), 326-329.
- 135-SENATORE, F. (1996). Influence of harvesting time on yield and composition of the essential oil of a thyme (*Thymus pulegioides* L.) Growing wild in Campinia (southern Italy), J. Agric. Food Chem., **44**, 1327-1332.
- 136- HMAMOUCHE, M. ; BENJILALI, M. ; ZOUHDI, M. ; AGOUMI, A. et PELECUER, J. (1992). Etudes Chimiques et microbiologiques des huiles essentielles de quelques espèces d'*Eucalyptus* Marocaines Rev. Med. Pharm. Afr. Vol 6, n°2, 109-117.
- 137- SAMATE, A.D ; NACRO, M. ; MENUT, C. ; LAMATY, G. And BESSIERE, J.M. (1994). Aromatic plants of tropical west Africa. VII. Chemical composition of the essential oils of two *Eucalyptus* species (Myrtaceae) from Burkina Faso : *Eucalyptus alba* Muell and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt, J. Essent. Oil Res., **10**, 321-324.
- 138-NTEZURUBANZA, L ; SCHEFFER, J.J.C. and LOOMAN, A. (1985). Composition of the essential oil of *Ocimum kilimandscharicum*, grown in Rwanda, Planta Med., **50**, 385-388.
- 139- MOORE, B.P. and BROWN, W.V. (1981). Insect. Biochem., **11**, 493-499.
- 140- RODRIGUEZ, E. and LEVIN, D.A. (1976). Biochemical parallels of repellents and attractants in higher plants and arthropods. Recent Adv. Phytochem. **10**, 216-270.

- 141- KLOCKE, A.J. ; MARK, V.D. and MANUEL, F.B. (1987).** cinéole-1,8 (eucalyptol), a Mosquito Feeding and Ovipositional Repellent from volatile Oil of *Hemizonia fitchii* (Asteraceae), *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 13, n° 12, .
- 142- GRIBB, A.B. and CRIBB, J.W. (1983).** Wild Medecination Australia, Fontana (Collins, Sydney, 71-75 in *Journal of Chemical Ecology* Vol 13, n° 12, 2132-2141.
- 143- ISMAILI-ALAOUI, M. (1992).** Contribution à la fonctionalisation des terpènes par biotransformation : Cas de la R(+)-pulégone, la (-)-menthone, l' α -thujone, le l-camphre et le 1,8-cinéole, Thèse ès Sciences Agronomiques de L'I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.
- 144- ISMAILI-ALAOUI, M. BENJILALI, B. ; BUISSON, D. et AZERAD, R. (1992).** Biotransformation du 1,8-cinéole et de la R(+)-pulégone, 11ème Journées Internationales Huiles essentielles, 1-3 Septembre, Digne-les bains, France, RIVISTA ITALIANA, EPPOS, Numéro Spéciale, Gennaio 95 .
- 145- WRIGHT, R.H.. (1975).** Why Mosquito Repellents Repel. *Sci. Am*, **233** (1); 104-111.
- 146- DETHIER, V.G. (1956).** *Annu. Rev. Entomol.* **1**, 181-202.
- 147-The MERCK INDEX (1989).** An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals, Eleven Edition, Merck &CO., INC, USA.
- 148- MENUT, C. ; BESSIERE, J.M. ; SAMATE, D. ; DJIBO, A.K. ; BUCHBAUER, G. and SCHOPPER, B. (1998).** Chemical composition, antioxidant and antiradical properties of the essential oils of three *Cymbopogon* species from Burkina Faso, *J. Essent. Oil, Recherche*, (sous presse).
- 149-CHAMOULEAU, A. (1986).** “dans les usages externes de la phytothérapie” Ed. J.M. PRUVOST-BEAURAIN, “la Maison Rustique”, Paris.

- 150-BADO, J. (1998).** Etude de l'effet de séchage sur la teneur en huiles essentielles des feuilles d'*Eucalyptus Camaldulensis* acclimaté en zone soudano-sahélienne, D.E.A, Université de Ouagadougou, 48 p.
- 151- BONZI-COULIBALY, Y. ; BADO, J. ; N'GESSAN, .Y. et SIB SIE, F. (1997).** Effet des facteurs de variation du rendement et de la composition chimiques d'huiles essentielles de plantes aromatiques : Cas d'*Eucalyptus camaldulensis* en zone soudano-sahélienne, J. SOACHIM., N° 003, 55-65.
- 152- BARITAU, O. ; RICHARD, H. ; TOUCHE, J. and DERBESY, M. (1987).** Effects of drying and Storage of herbs and Spices on the Essential Oil, part I, Basil, *Ocimum basilicum* L., in Flavour Scien. Ed. M. Martens and Dalen, G. A., John Wiley, New York..
- 153a- NAVES, Y.R. (1960).** Essential oils of ginger grass (*Cymbopogon martini* var sofia and *Cymbopogon densiflorus*), Perfum Essent. Oil Rec., **51**, 242-245.
- 153b- NAVES, Y.R. and GRAMPOLOFF, A.V. (1961).** Plant chemistry-p-menthadienols of essential oils in *Cymbopogon martini* var sofia and *Cymbopogon densiflorus*. Compt. Rend., **249**, 306-308.
- 154- NIGAM, M. C. ; SRIVASTAVA, H.K. and SIDDIQUI, M. S. (1987).** Chemistry of Cymbopogon and their essential oils. Pafai Journal, 13-20.
- 155- MATHEL, C. S. ; DEV, V. ; MELKANI, A. B. And PANT A. K. (1988).** New chemotypes of *Cymbopogon distans* (Steud) Wast. In western Himalaya : their terpenoid composition and chemotaxonomic importance . Dev. Food. Sci. **18** (Flavors Fragrances) 301-307.
- 156- ADAMS, R.P. (1989).** Identification of Essential Oil by Ion Trap Mass Spectroscopy, Academic Press : San Diego.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

1 METHODES D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES

1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal fraîchement récolté (pour tous les échantillons) est séché à l'abri du soleil, à la température ambiante, sous ventilation, pendant trois jours.

Tableau 32 : Espèces végétales étudiées, dates et lieux de récolte

Espèces végétales étudiées	Famille	échantillons (date ou période de récolte)	Lieu de récolte	Organes prélevés
<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	Lamiaceae	A (12/12/93) B (26/10/96)	Ouagadougou (forêt classée) Kossodo	a + b + c a + b
<i>Hyptis suaveolens</i> Poit.	Lamiaceae	A (12/12/93) B (19/05/95) C (7/96 à 12/96)*	Dassasgho Pissi Kossodo	a + b + c a + b + c a + b + c
<i>Ocimum americanum</i> Linn.	Lamiaceae	A 12/11/93 B 08/11/94 C 11/11/94	Ouagadougou (IDR) Bobo-dioulasso Ouagadougou (IDR), cultivé	a + b + c a + b + c a + b + c
<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng	Poaceae	A (06/94) B (03/93) C (07/96 à 12/96) ** D (07/96 à 12/96) *** E (08/96)	Dassasgho Dassasgho Dassasgho Kossodo Bondukuy	a c a + b + c a + b + c a + b
<i>Cymbopogon giganteus</i> Chiov	Poaceae	A (30/07/94)	(IDR)	a
<i>Cymbopogon citratus</i> (DC)	Poaceae	A (24/06/94)	(Wemtemga)	a

* ; ** ; *** voir tableau 33 ; a : feuilles ; b : tiges ; c : inflorescences.

Tableau 33 : Périodes de récolte et organes prélevés des échantillons C(*Hyptis suaveolens*), C et D*** (*Cymbopogon schoenanthus*)**

périodes de récolte	7/96	8/96		9/96			10/96			11/96			12/96	
organe (échantillon C*)	a	a	a	a+b+c			a+b+c			a+b+c			a+b+c	
organe (échantillon C)	a	a	a+b+c	a+b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
organe (échantillon D)	a	a	a+c+c	a+b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c

a : feuilles ; b : tiges ; c : inflorescences.

1.2 HYDRODISTILLATION

Les huiles essentielles sont extraites du matériel végétal par hydrodistillation à la pression atmosphérique, à l'aide d'un appareil de type CLEVINGER ^[65] (fig.53). Le matériel végétal (100 g) et l'eau distillée (1,5 à 1,7 l selon la durée de la distillation, qui est de 7H pour *Cymbopogon schoenanthus* et 3H pour les autres espèces) sont introduits dans un réacteur de 2 l. Le mélange est ensuite porté à l'ébullition, les vapeurs d'eau chargées d'huile essentielle se condensent au contact du bain réfrigérant, tandis qu'au niveau du séparateur, le distillat se sépare en deux phases : l'huile essentielle constitue la phase supérieure et l'eau la phase inférieure. La phase aqueuse est recyclée au cours de la distillation. Une graduation permet de lire le volume de l'huile essentielle extraite. Cette dernière est recueillie, puis séchée sur sulfate de sodium anhydre. Le rendement en essence est exprimé en pour cent volume/masse de la façon suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Volume de l'huile essentielle obtenue}}{\text{masse de matériel végétal sec}} \times 100$$

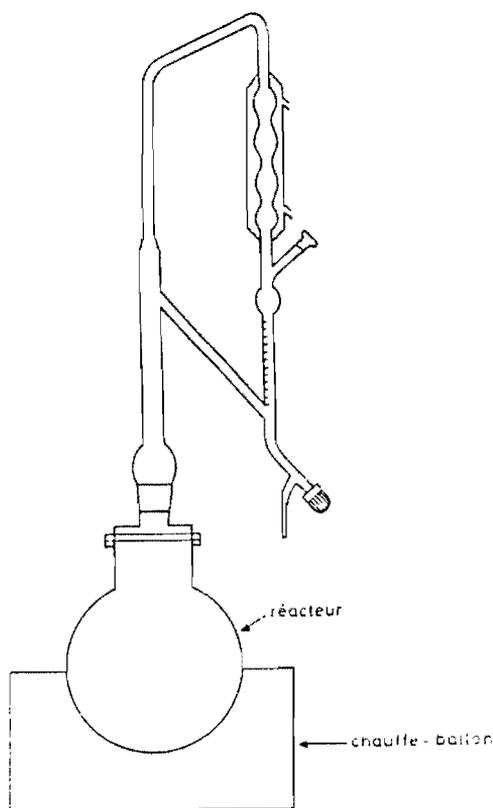


Fig. 53 : Extracteur de type Clevenger

2. ANALYSE DES HUILES ESSENTIELLES

2.1 Analyse par chromatographie en phase gazeuse

Les huiles essentielles de *Hyptis spicigera* (échantillon A), de *Hyptis suaveolens* (échantillon A), d'*Ocimum americanum* (échantillon A) ont été analysées à l'aide d'un chromatographe Varian 6000, équipé de deux colonnes en silice fondue (diamètre intérieur 0,25 mm et 30 m de long), de type DB1 et DB-Wax et deux détecteurs à ionisation de flamme.

L'analyse des huiles essentielles de *Hyptis spicigera* (échantillon B), de *Hyptis suaveolens* (échantillon B), d'*Ocimum americanum* (l'échantillon B et des 5 fractions de distillation), de *Cymbopogon schoenanthus* (échantillons A et B), de *Cymbopogon giganteus* et de *Cymbopogon citratus*, a été effectuée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Shimadzu GC-14A), équipé de colonnes capillaires en silice fondue de type OV101 (diamètre intérieur 0,25 mm et 25 m de long) et Carbowax 20M (diamètre intérieur 0,22 mm et 25 m de long) et muni d'un détecteur à ionisation de flamme.

Pour le chromatographe Varian 6000, les conditions opératoires sont les suivantes:

- température de l'injecteur et des détecteurs 230 à 280°C
- température de la colonne programmée de 40 à 180° C, avec un gradient de 2° C par minute,
- gaz vecteur Hélium à une vitesse de 30 cm/s (1,7 ml/ min.)
- injection : 1 µl dilué au 1/100 et débit de fuite 30 ml/ min.

Pour le chromatographe en phase gazeuse (Shimadzu GC-14A), les conditions opératoires sont les suivantes:

- température de l'injecteur : 210°C
- température du détecteur : 250°C
- température de la colonne programmée de 50 à 200° C, avec un gradient de 5° C par minute,
- gaz vecteur: azote (0,9 kg/cm²)

2.2. Identification des constituants des huiles essentielles par le calcul de leurs indices de rétention ^[37, 38,39]

Après chromatographie sur les deux colonnes de l'échantillon à analyser, on calcule les indices de rétention (Indice de Kovats) des différents constituants détectés, après co-injection dans les mêmes conditions, de l'échantillon et d'un mélange d'alcane linéaires (C9 à C22 et C9 à C24, respectivement

pour les colonnes apolaire et polaire), dont les temps de rétention s'échelonnent sur tout le chromatogramme. On calcule l'indice de KOVATS ^[39] ou indice de rétention d'un constituant inconnu x selon la formule (1).

$$I_K = 100 \frac{\text{tr}(x) - \text{tr}(C_n)}{\text{tr}(C_{n+1}) - \text{tr}(C_n)} \quad (1)$$

tr (x): temps de rétention du composé inconnu (x) détecté entre les alcanes C_n et C_{n+1} ;

tr (C_n): temps de rétention de l'alcane à n atomes de carbones,

tr (C_{n+1}): temps de rétention de l'alcane à n+1 atomes de carbone.

Les indices de rétention des composés des huiles essentielles ont été calculés selon la formule (1), sur les deux colonnes DB1 et DB-Wax où OV101 et CWX20M. Certains constituants des huiles essentielles ont été identifiés par comparaison de leurs indices de rétention à ceux de composés témoins figurant dans une banque de données ou issues de la littérature ^[37, 38, 49], et/ou par comparaison de leurs spectres de masse avec ceux de la littérature ^[157].

2.3. Analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la Spectrométrie de masse (CPG/SM).

Nous avons eu recours à cette méthode pour l'identification et la confirmation des structures des composés. Dans ce cas, l'identification est basée sur la comparaison de leurs spectres de masse avec ceux issus de la littérature ou d'une banque de données.

L'identification des composés des huiles essentielles de *Hyptis spicigera* (échantillon A), *Hyptis suaveolens* (échantillon A), *Ocimum americanum* (échantillon A) a été réalisée par CPG/SM à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse de type Varian 3400 couplé à un spectromètre de masse Saturn II de type trappe ionique et à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (modèle Hewlett-Packard, type 5890), couplé à un détecteur sélectif de masse de type quadropolaire travaillant à 70 eV.

L'identification des composés des huiles essentielles de *Hyptis spicigera* (échantillon B), de *Hyptis*

suaveolens (échantillon B), d'*Ocimum americanum* (échantillon Bet C), de *Cymbopogon schoenanthus* (échantillons A, B, C, D et E), de *Cymbopogon giganteus* et de *Cymopogon citratus*, a été réalisée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (modèle Hewlett-Packard, type 5970), équipé d'une colonne capillaire greffée DB1 (diamètre interne, 0,23 mm et 25m de longueur) et d'un détecteur sélectif quadrupolaire, type 5970 A, dans lequel le potentiel d'ionisation est fixé à 70 eV.

Conditions opératoires :

- température de l'injecteur : 180°C,
- température du détecteur : 210°C,
- température de la colonne programmée de 60 à 180°C avec un gradient de 5°C par minute,
- gaz vecteur, helium (vitesse de migration 0,9 ml/ mn).

3. DISTILLATION SOUS PRESSION RÉDUITE

L'huile essentielle (11,6 g) est placée dans un ballon dicol de capacité 25 ml. L'encolure droite du dicol est surmontée d'une colonne de vigreux qui comporte un bras latéral auquel est adapté un réfrigérant et dont l'extrémité supérieure est munie d'un thermomètre. Un réducteur comportant un bras latéral est adapté à l'extrémité inférieure du réfrigérant. Un récepteur rotatif à quatre branches, en forme de pie de vache, adapté au réducteur permet la collection des différentes fractions, dans quatre ballons dont chacun a une capacité de 100ml. Le bras latéral du réducteur est connecté à une pompe à vide ($P = 630$ mbars) par l'intermédiaire d'un piège. Ce dernier est composé d'un flacon contenant de la soude en pastilles et d'un tube vide placé dans un vase Dewar, rempli d'un mélange de glace et de NaCl. L'huile essentielle contenue dans le ballon dicol est chauffée doucement, à l'aide d'un chauffe ballon muni d'un régulateur, après avoir mis en marche la pompe à vide et le système de réfrigération. Les différentes fractions sont collectées en fonction de leurs températures d'ébullition, lues sur le thermomètre, sous une pression sensiblement égale à 630 mbars. A l'issue de la distillation sous pression réduite, cinq fractions ont été obtenues.

4. FRACTIONNEMENT DE L'HUILE ESSENTIELLE DE *Ocimum americanum* PAR CHROMATOGRAPHIE SUR COLONNE.

Chacune des fractions de distillation 4 et 5, a été chromatographiée trois fois sur colonne dans les conditions ci-dessous indiquées :

colonne en verre : 50 cm

Adsorbant : gel de silice 60 (140 g; 70-220 mesh, ASTM)

éluant : n-hexane-toluène en gradient.

fractions : des fractions de 5ml sont recueillies à l'aide de tubes à essais.

analyse et révélation: les fractions sont analysées par CCM; les composés sont révélés à l'aide d'une lampe UV à 250 nm.

récupération des produits: par concentration sous vide des fractions de composition identique, à 35°C, à l'aide d'un évaporateur rotatif.

conservation : les produits sont stockés dans des flacons de 5ml en verre brun ou en verre clair recouvert de papier aluminium et conservés à basse température (réfrigérateur).

5. SPECTROMÉTRIE DANS L'INFRAROUGE ET UV-VISIBLE

Les spectres infrarouges de chacune des cinq fractions de distillation et celui du camphre ont été enregistrés sous forme de film sur un spectromètre Perkin-Elmer, model 843.

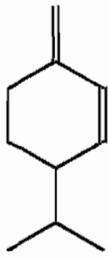
Le spectre électronique a été enregistré sur un spectrophotomètre Safas Monaco modèle DES 190, système à double énergie, en utilisant de l'éthanol comme solvant.

6. PRODUITS CHIMIQUES

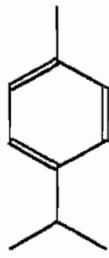
Tous les solvants utilisés sont des produits commerciaux, de qualité pour analyse. Avant utilisation, ils ont été purifiés par distillation.

ANNEXES

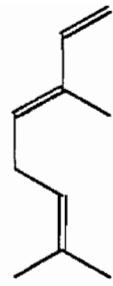
ANNEXE I :
Structures de quelques composés identifiés



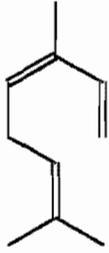
bêta-pellandrène



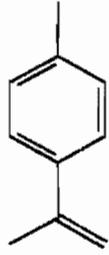
p-cymène



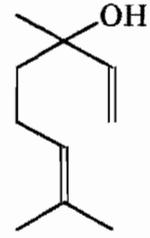
trans-bêta-ocimène



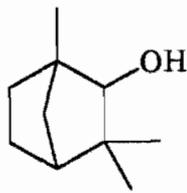
cis-bêta-ocimène



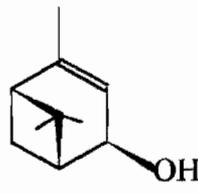
p-cymenène



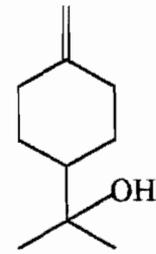
linalol



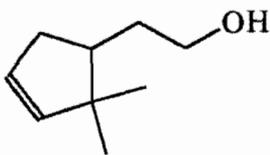
fenchol



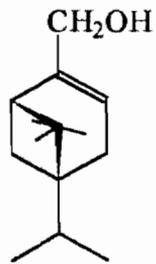
cis-verbénol



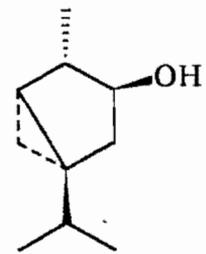
delta-terpinéol



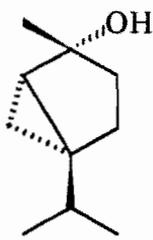
campholénol



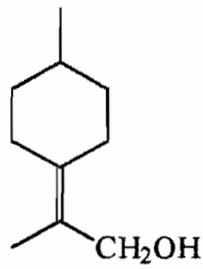
myrténol



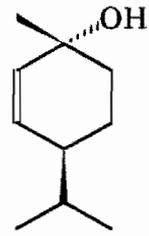
thujanol-1



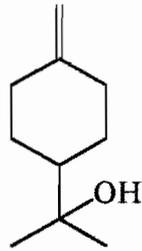
thujanol-2



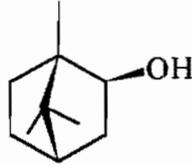
p-menth-4(8)-en-9-ol



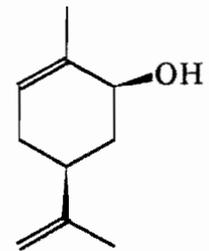
trans-p-menth-2-en-1-ol



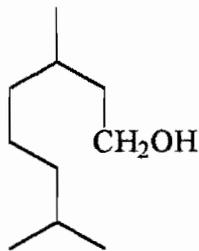
delta-terpinéol



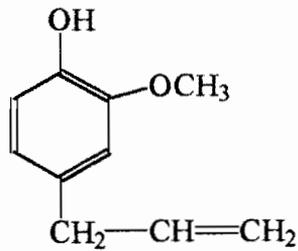
isobornéol



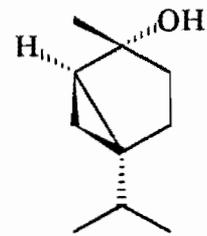
cis-carvéol



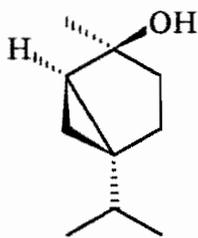
citronellol



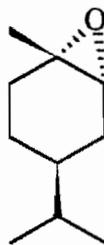
eugénol



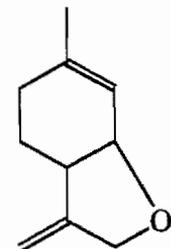
cis-hydrate de sabinène



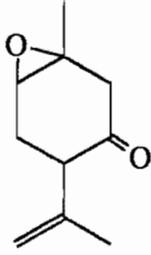
trans-hydrate de sabinène



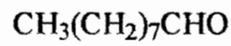
trans-oxyde de limonène



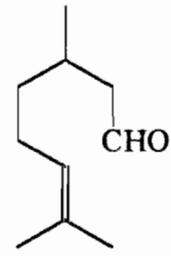
3,9-époxy-mentha-1,8(10)-diène



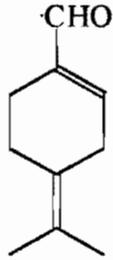
oxyde d'isopulégone



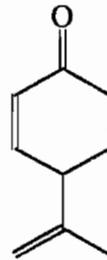
nonanal



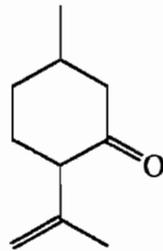
citronellal



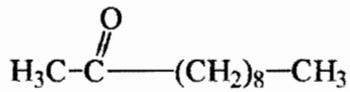
périllaldéhyde



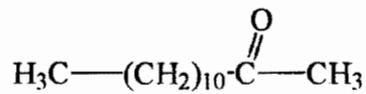
4-isopropénylcyclohex-2-ène-one



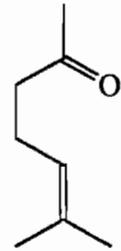
isopulégone



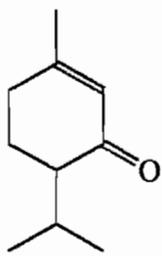
undécane-2-one



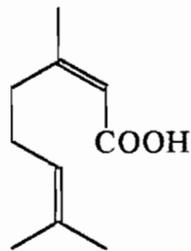
tridécan-2-one



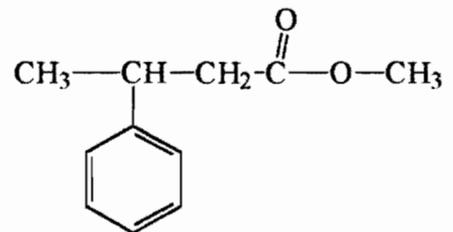
6-méthyl-hept-5-èn-one



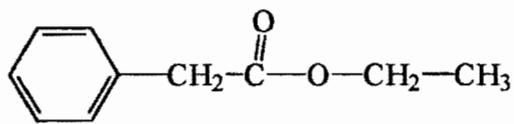
isopipériténone



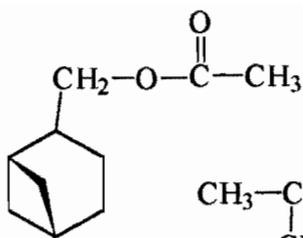
acide nérique



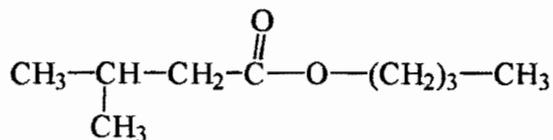
3-phénylbutanoate de méthyle



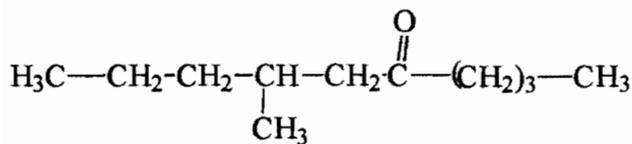
phénylacétate d'éthyle



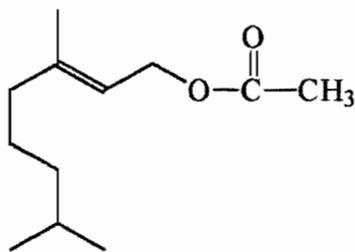
acétate de myrtényle



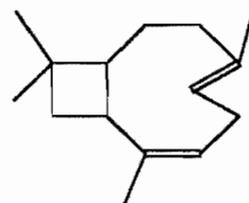
3-méthylbutanoate de butyle



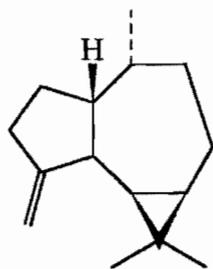
3-méthyl-hexanoate de butyle



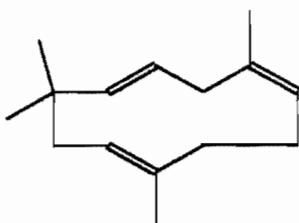
acétate de géranyle



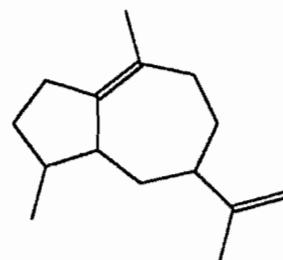
alpha-caryophyllène



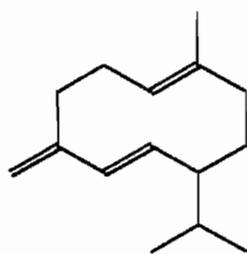
bêta-gurjunène



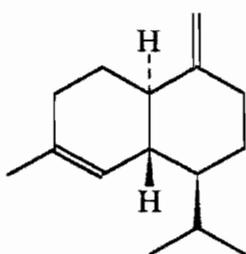
alpha-humulène



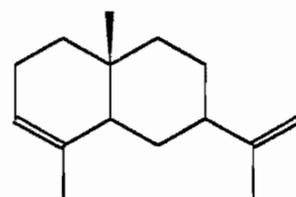
delta-guaiène



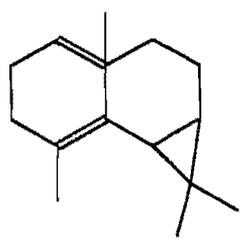
germacrène D



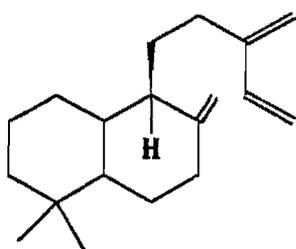
gamma-cadinène



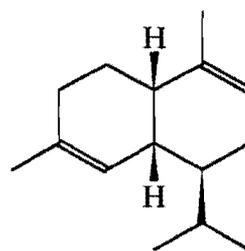
alpha-sélinène



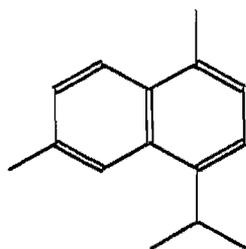
bicyclogermacrène



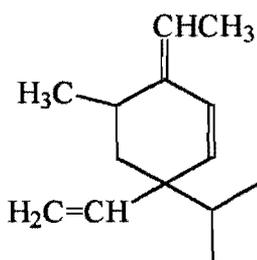
sclarène



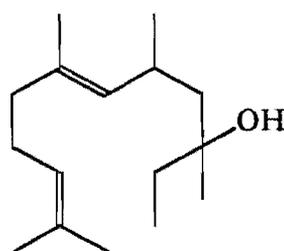
alpha-muuroène



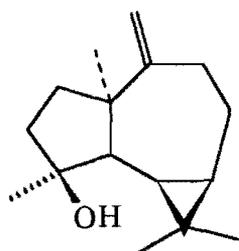
cadalène



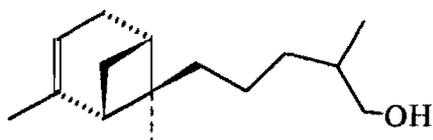
alpha-élémane



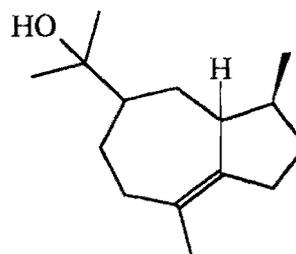
nérolidol



spatulénol



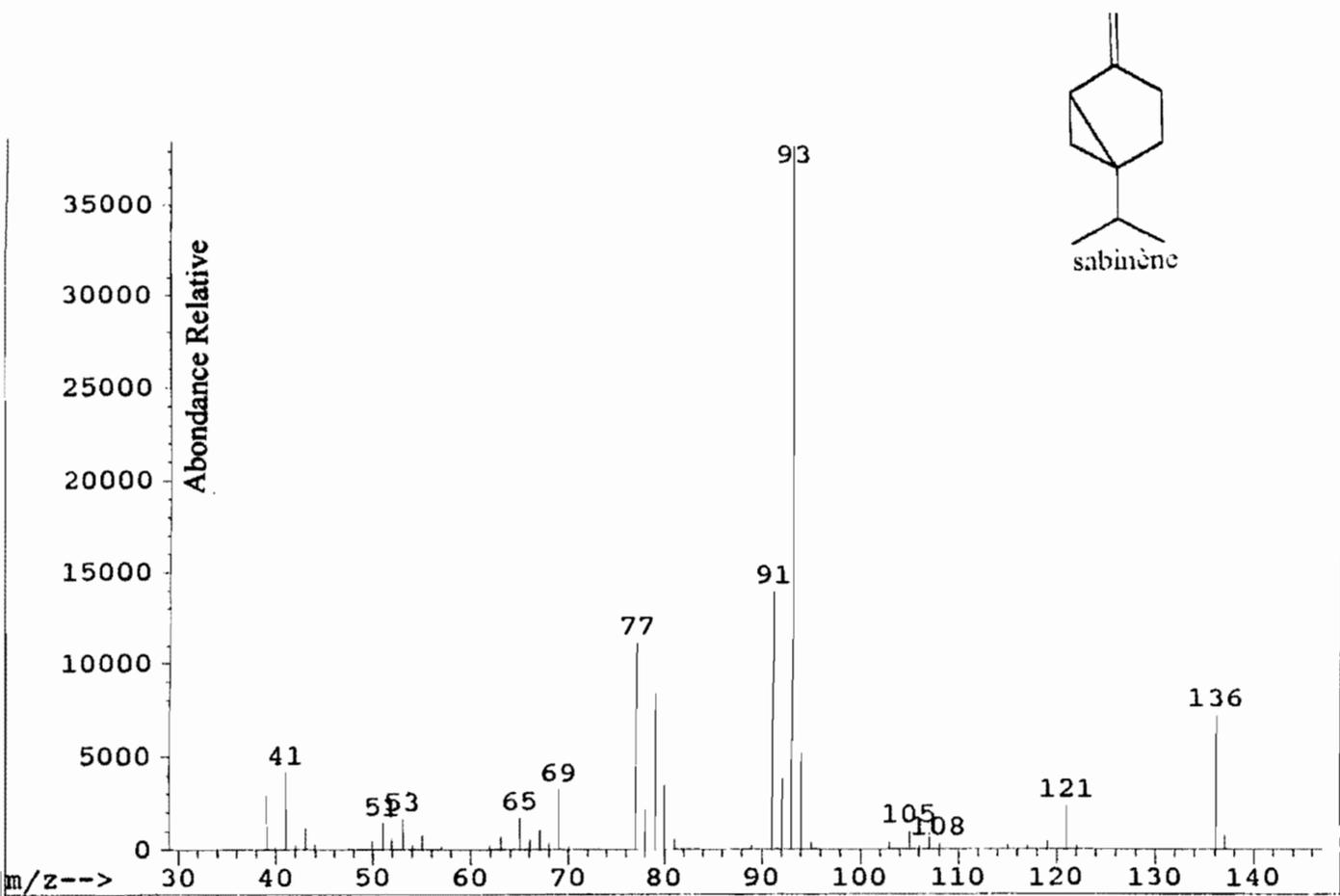
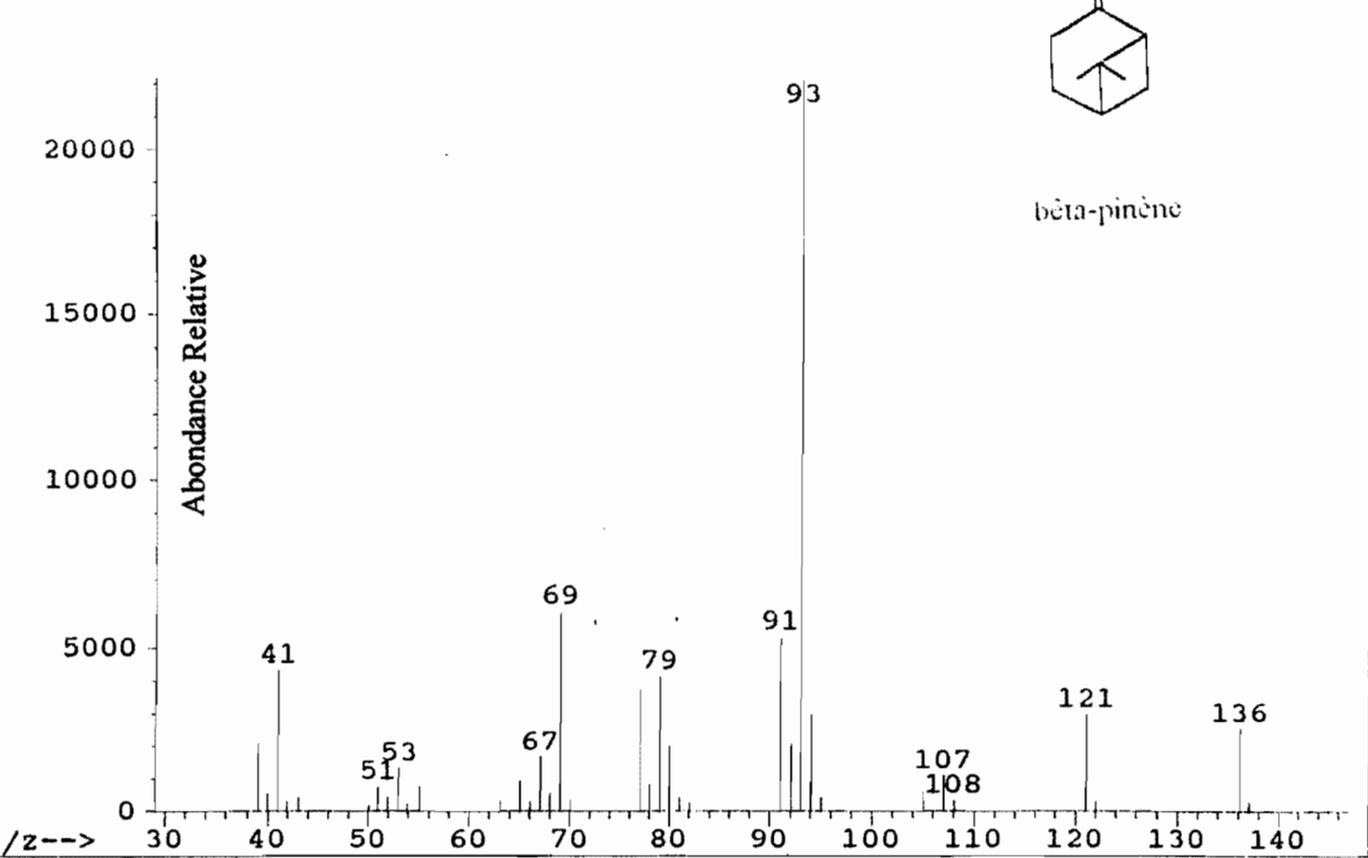
bergamotol



bulnesol

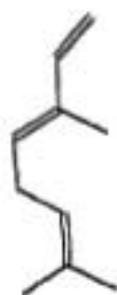
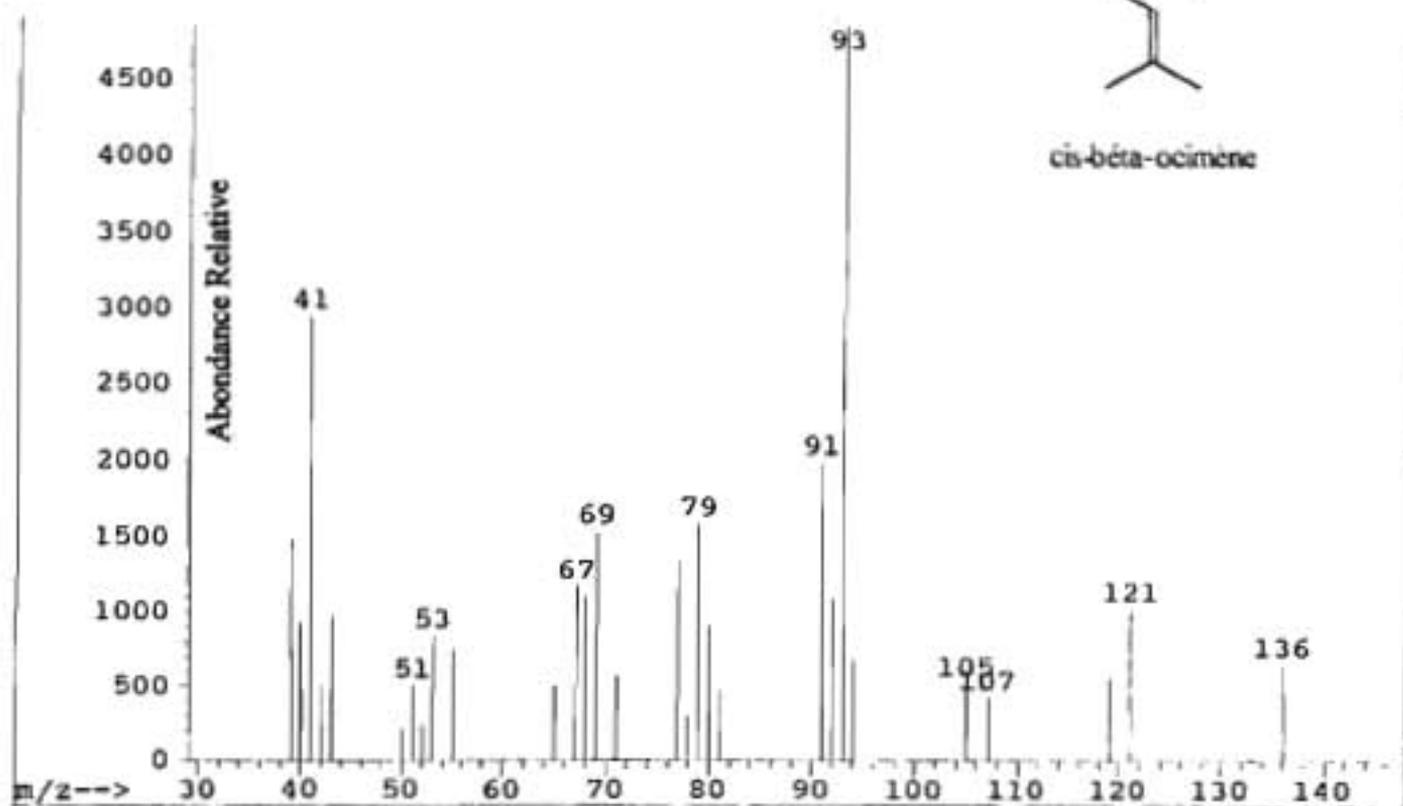
ANNEXE II :

Spectres de masse de quelques composés identifiés

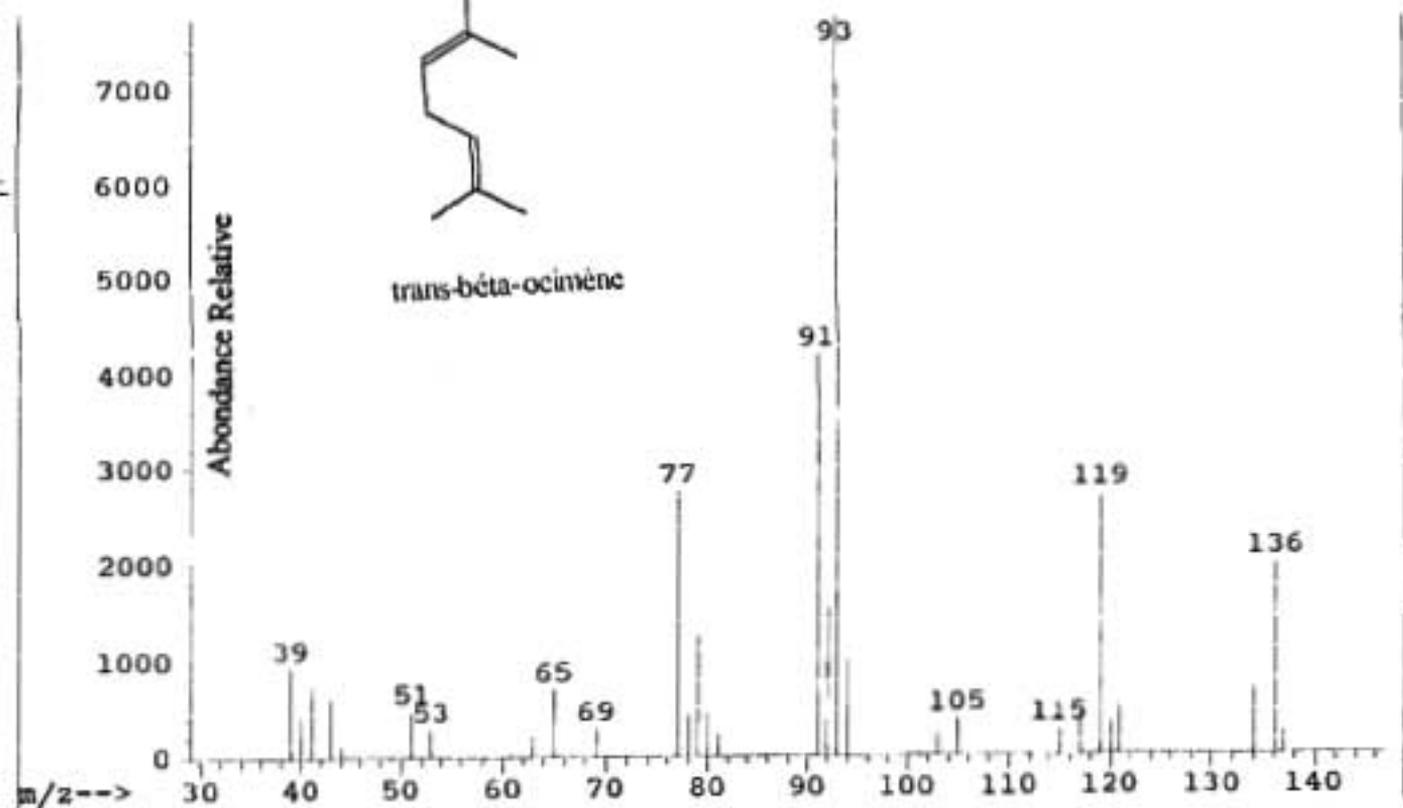


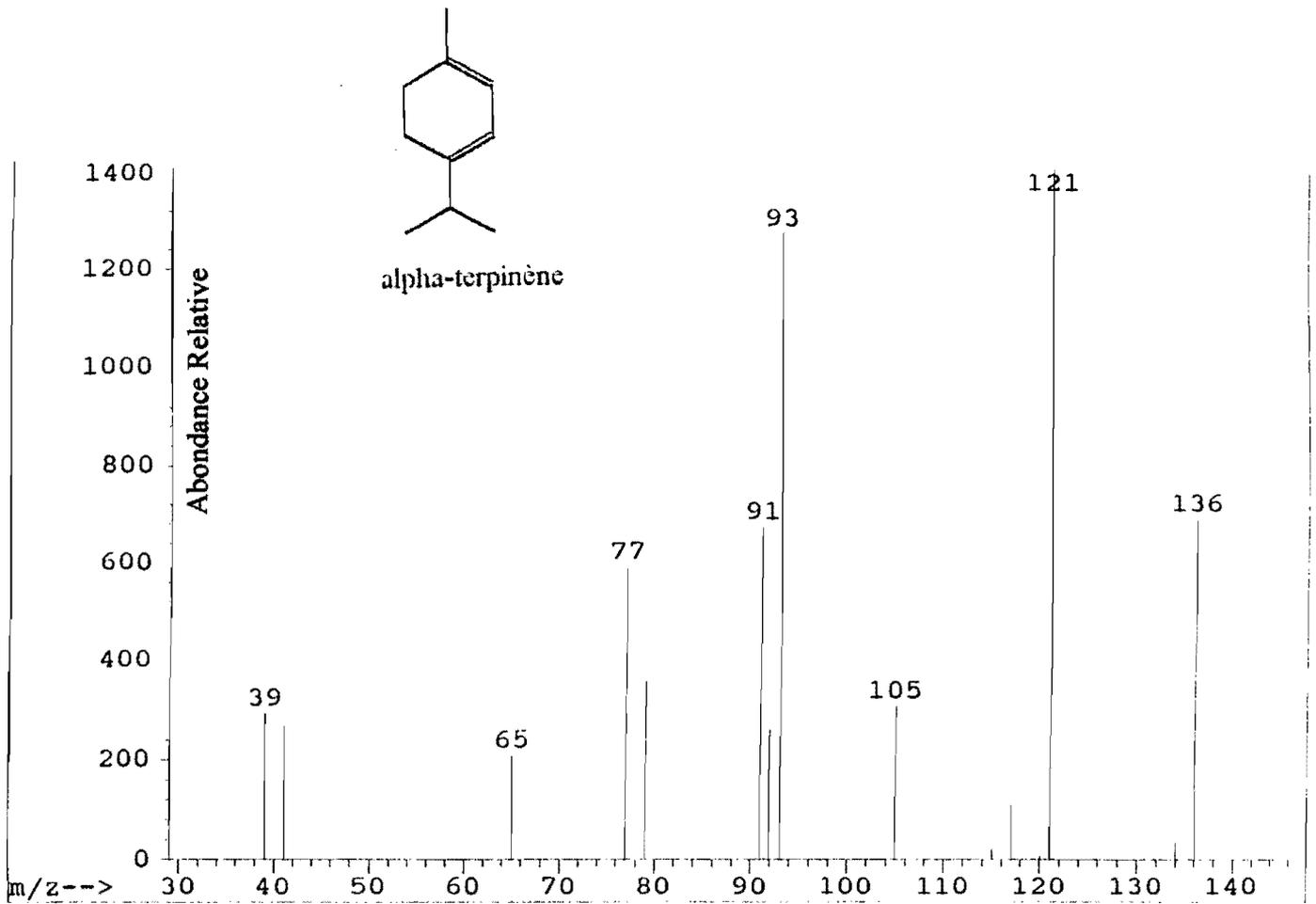
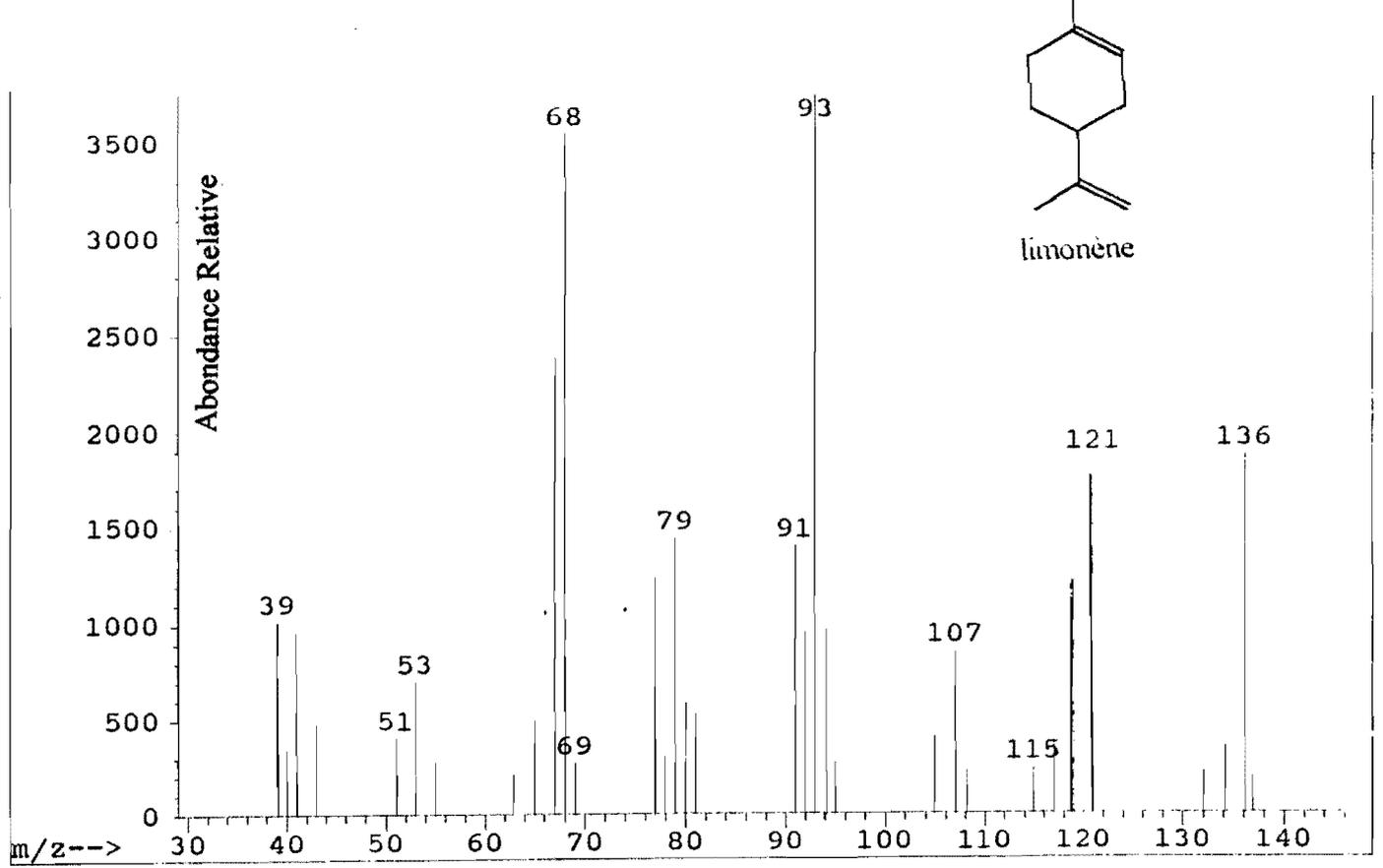


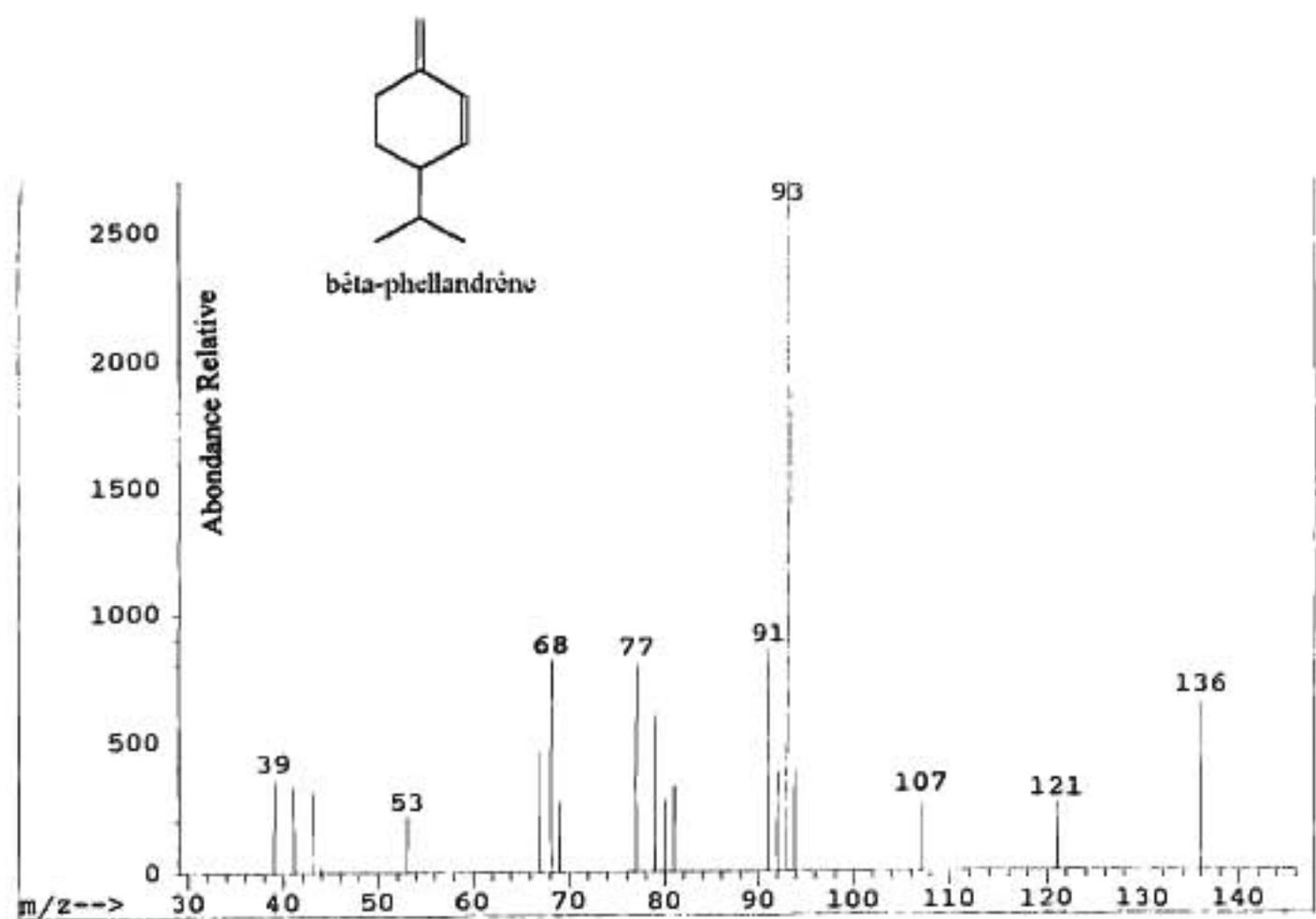
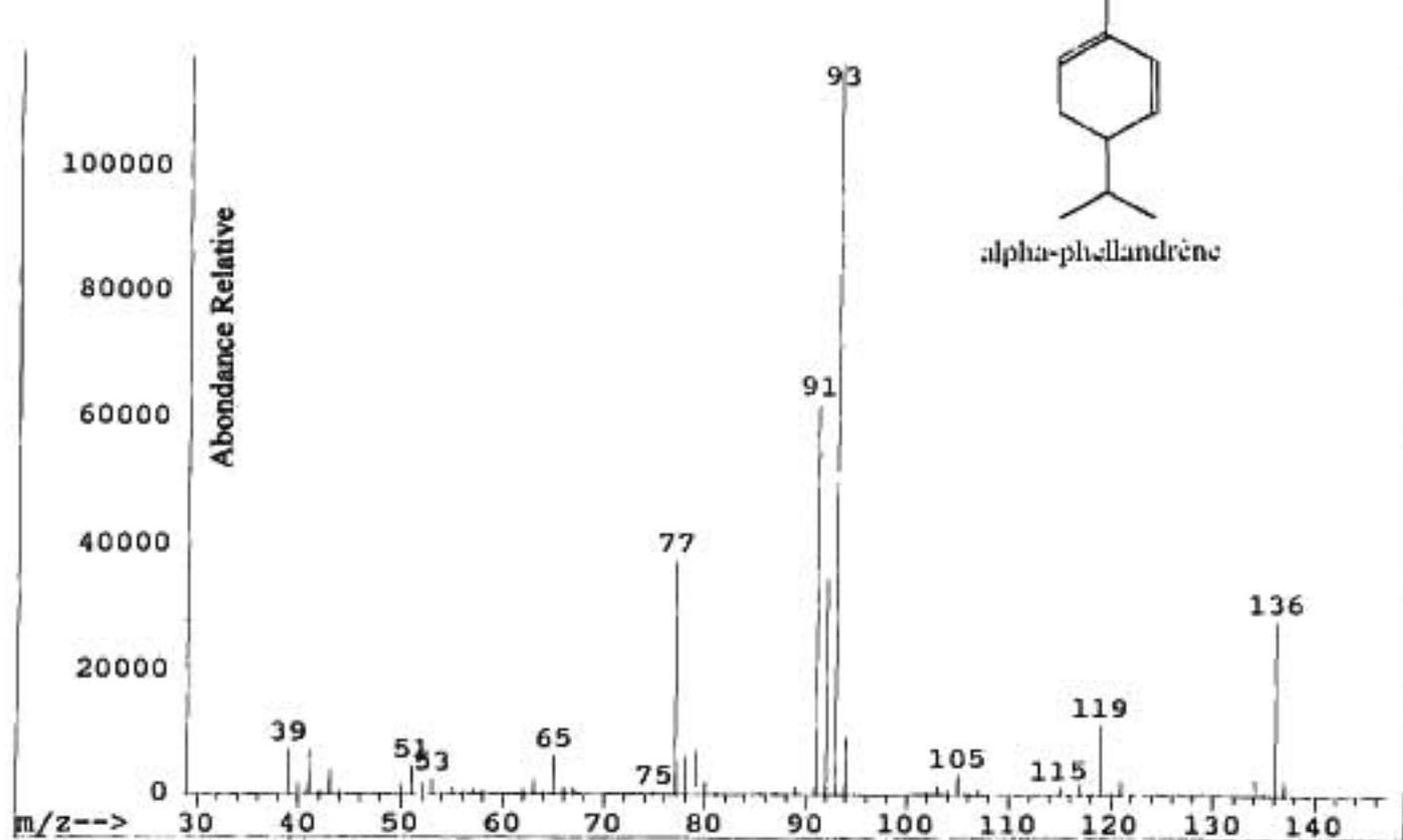
cis-béta-ocimène

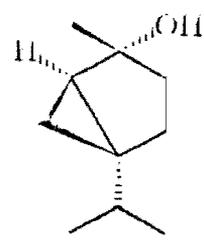


trans-béta-ocimène

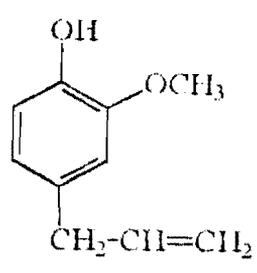
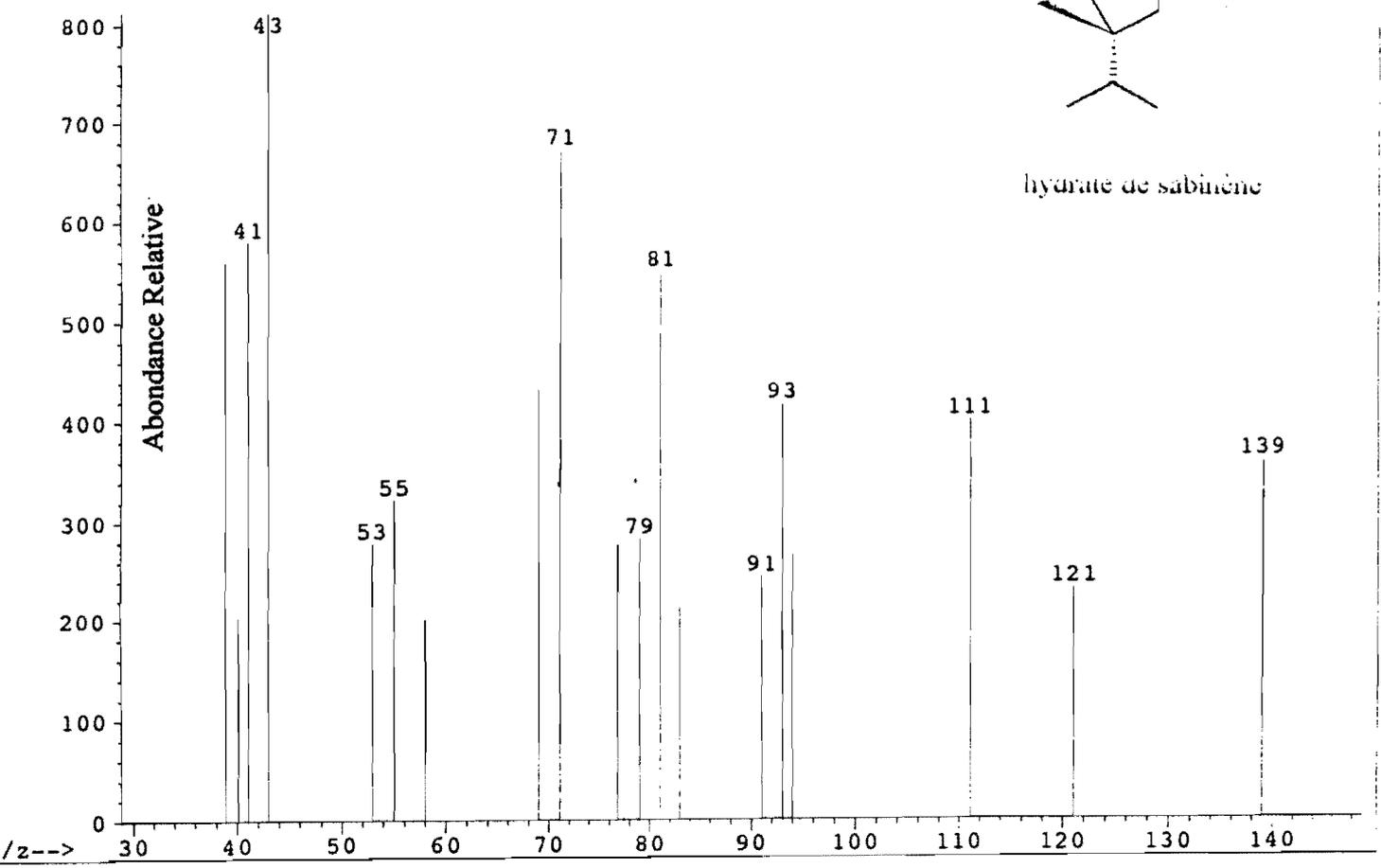




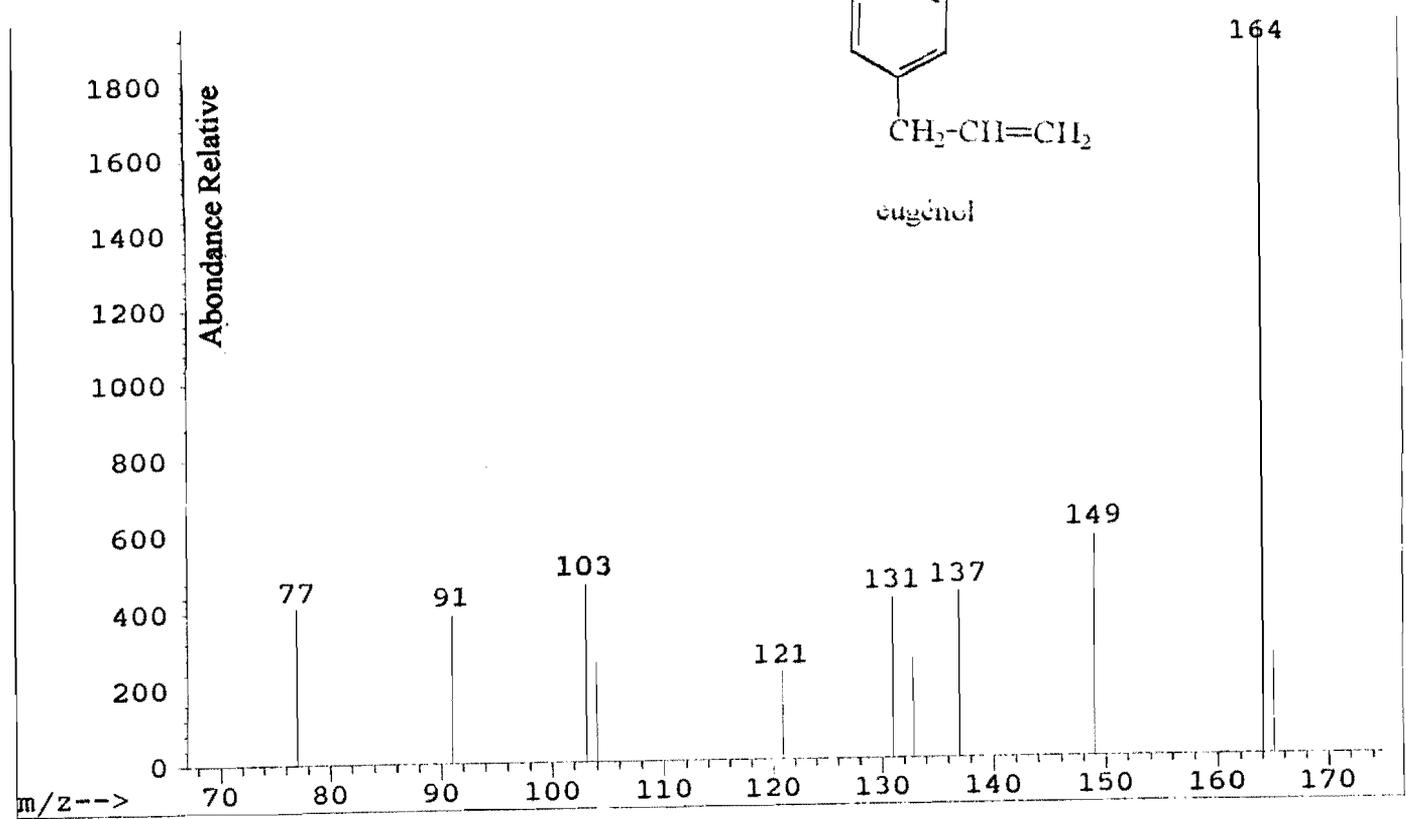


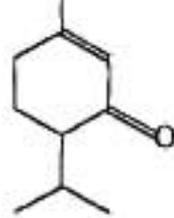


hydrate de sabinène

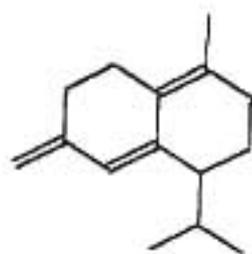
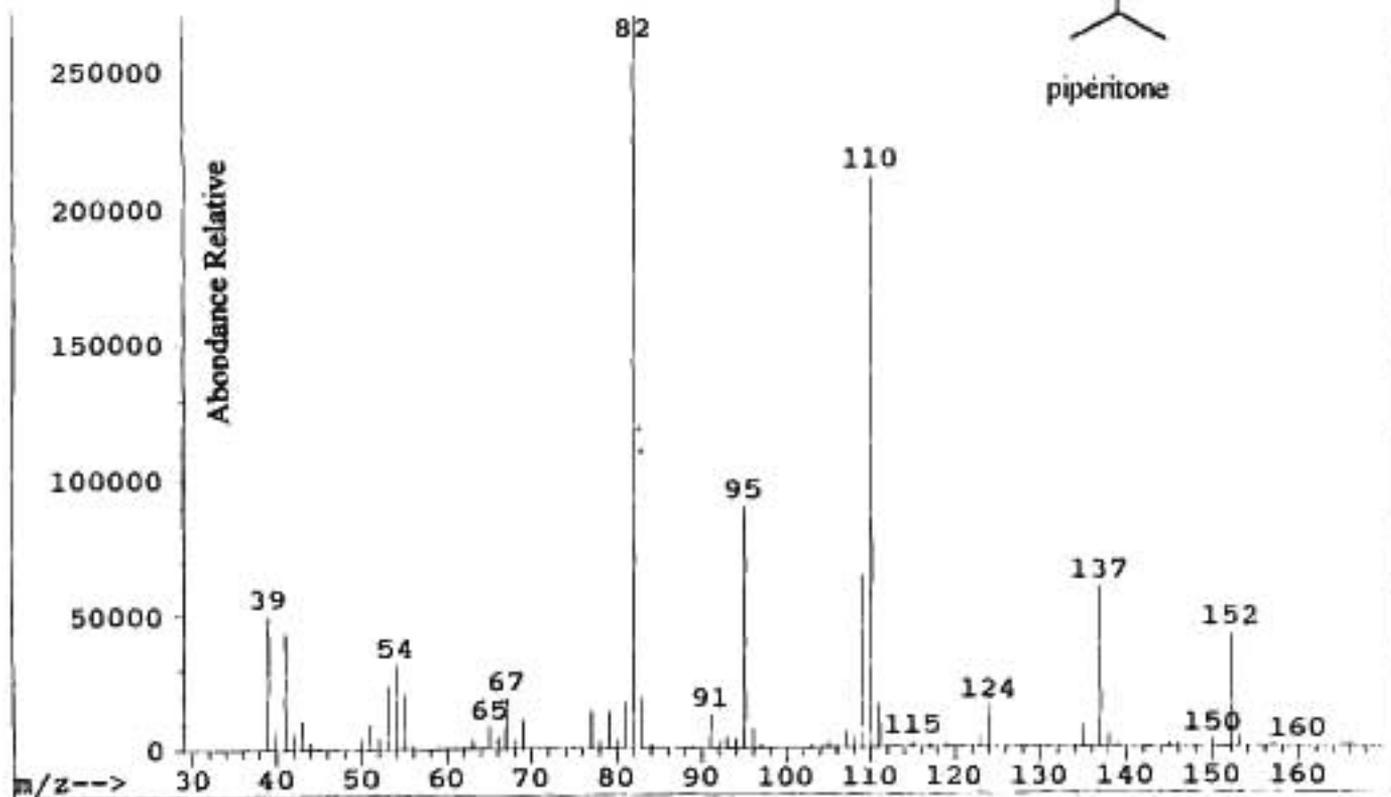


eugénol

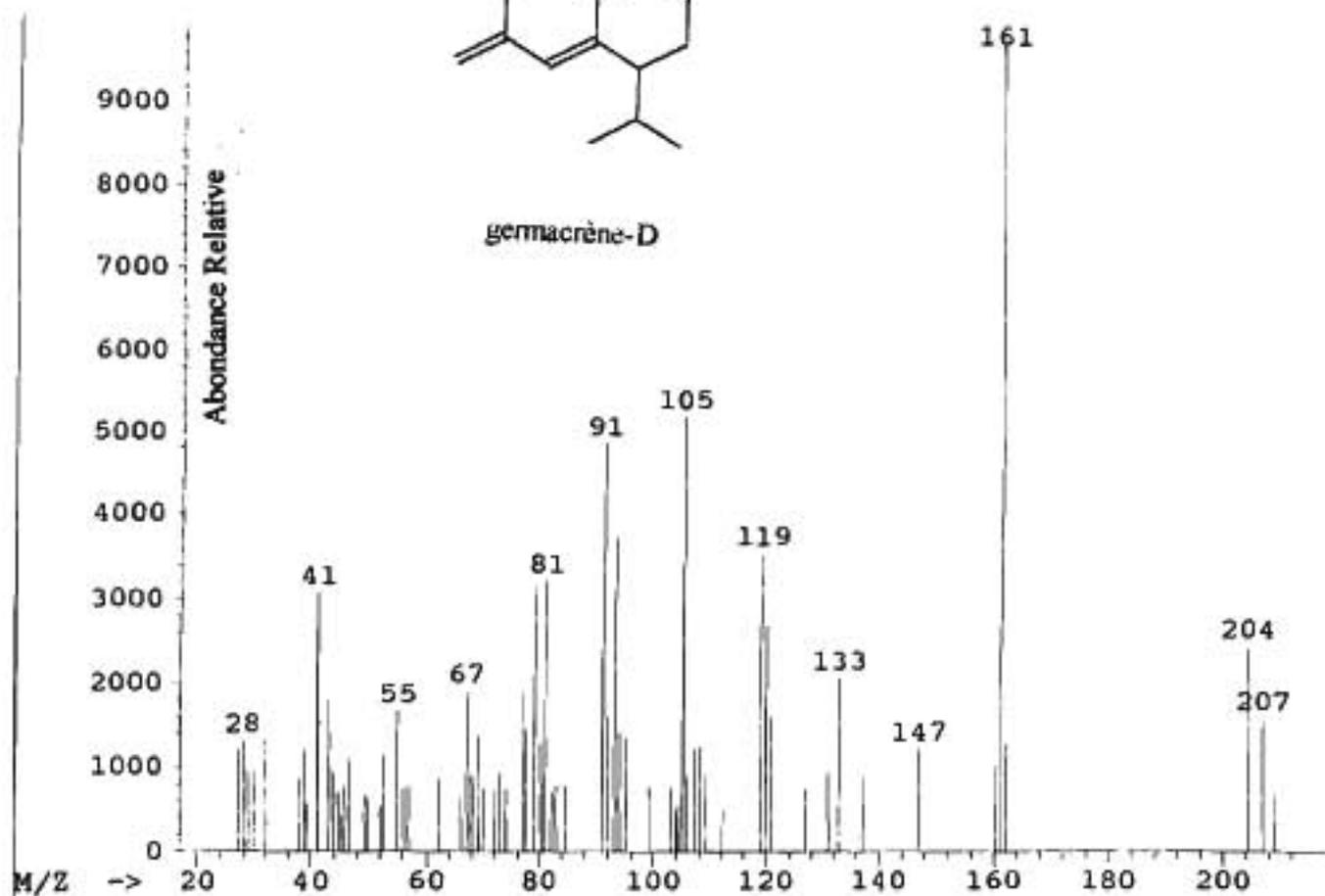


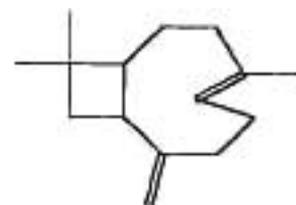


piperitone

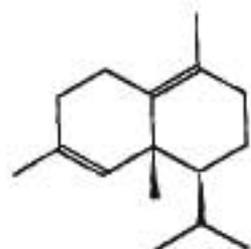
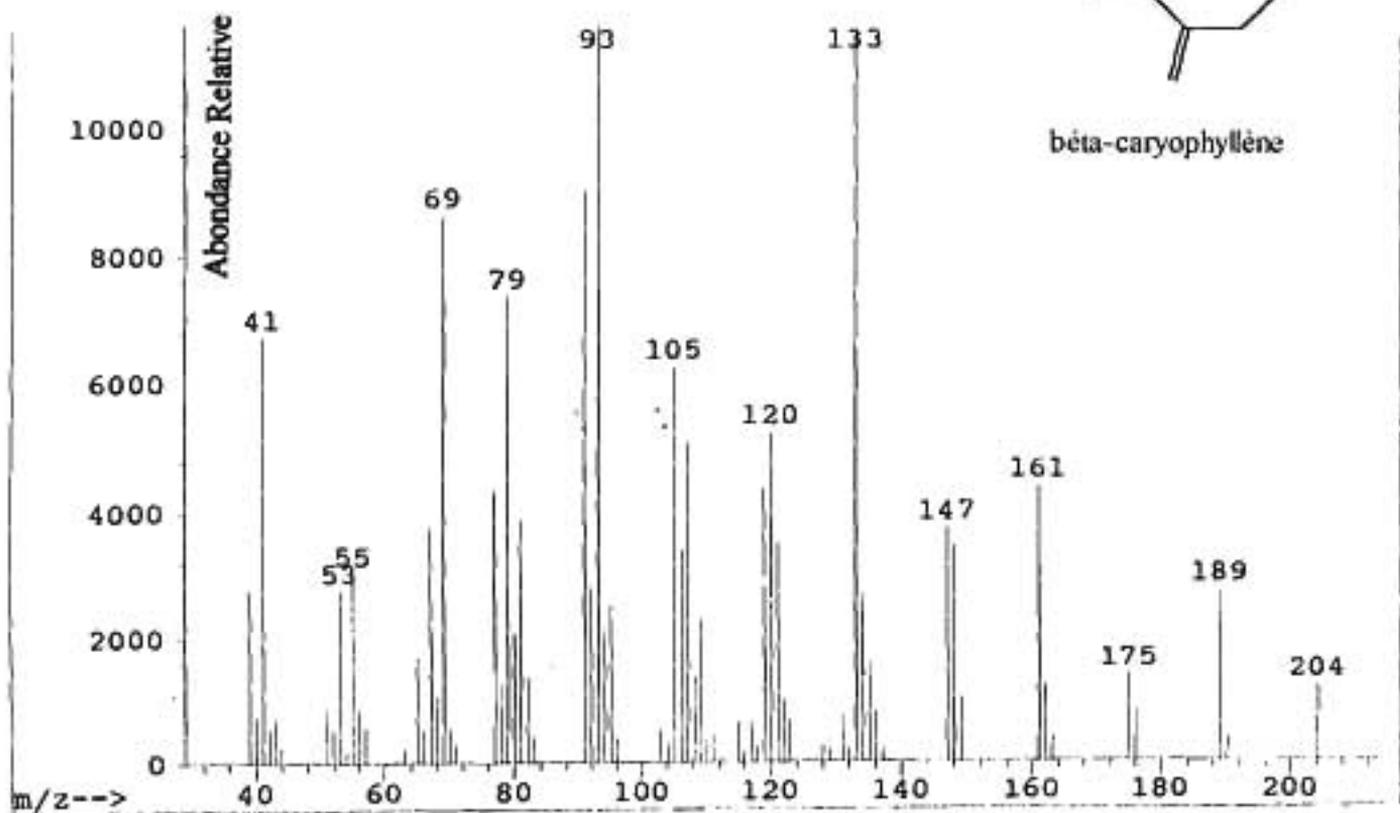


germacrène-D

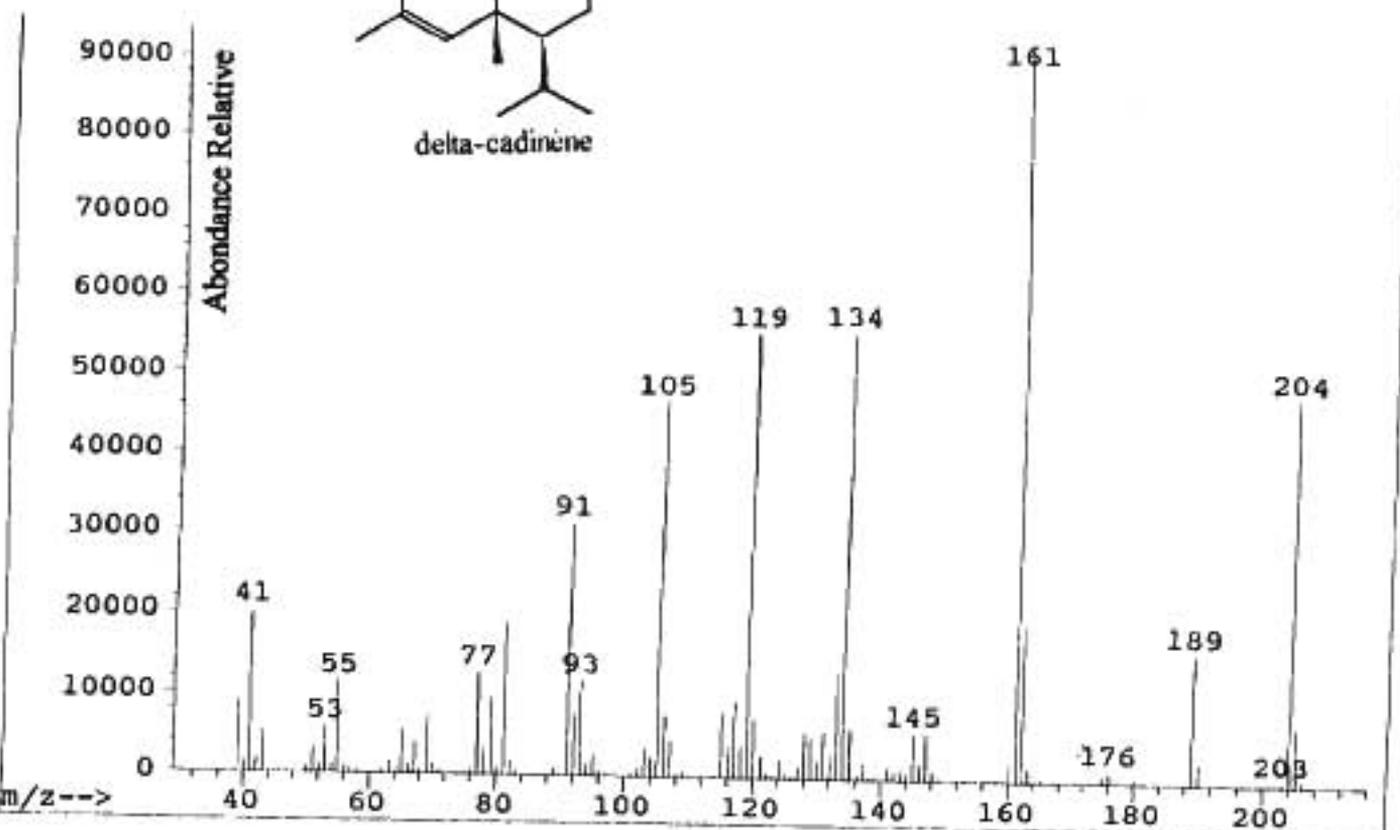


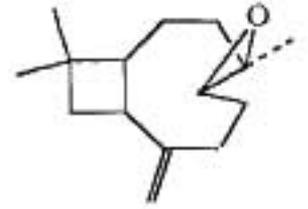


béta-caryophyllène

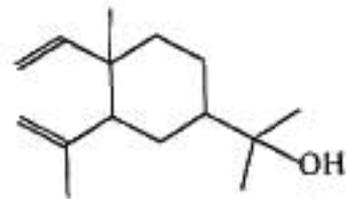
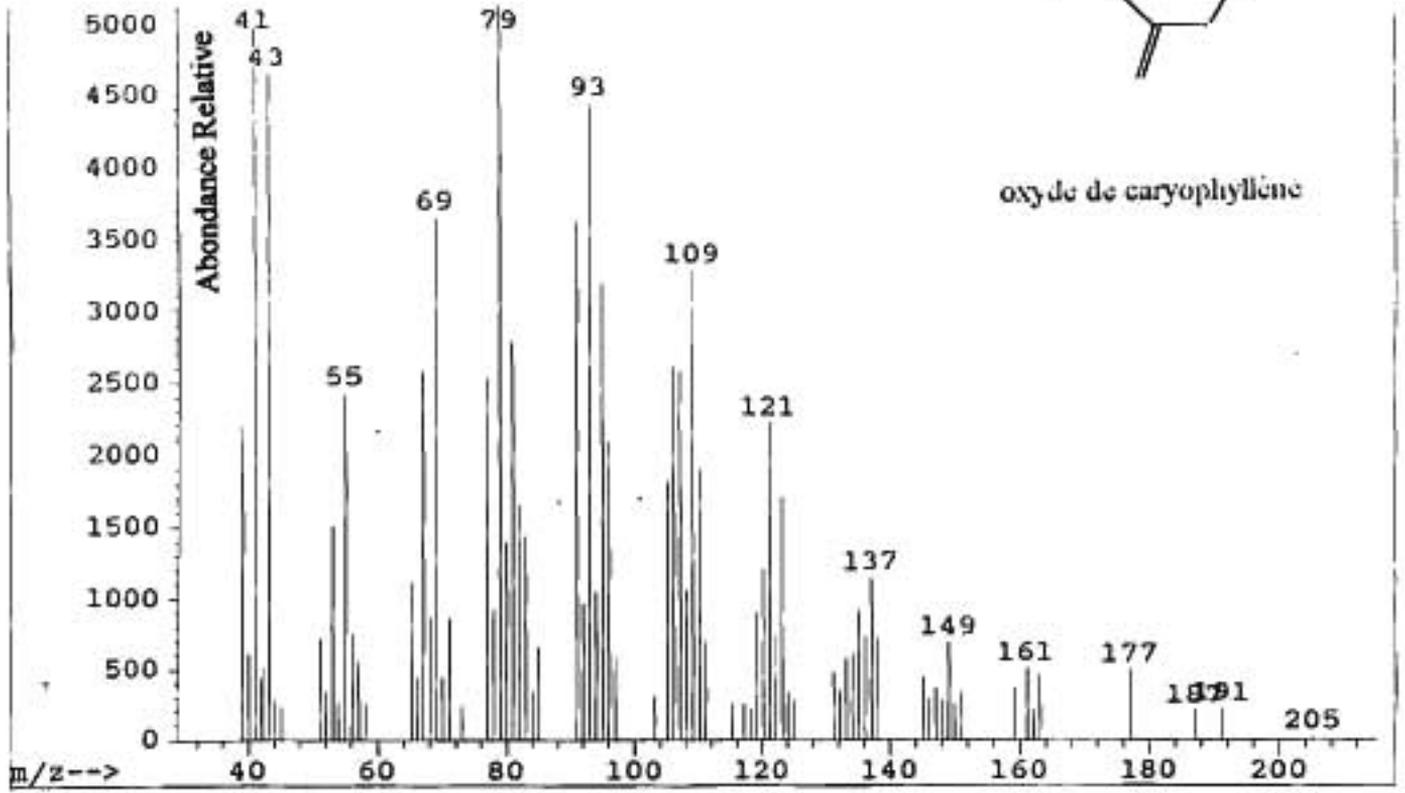


delta-cadinène





oxyde de caryophyllène



élemol

