HAL
open science

# Mentha spicata : description et utilisations en thérapeutique et en agriculture comme antigerminatif sur la pomme de terre

Pauline Carlier-Loy

## To cite this version:

Pauline Carlier-Loy. Mentha spicata : description et utilisations en thérapeutique et en agriculture comme antigerminatif sur la pomme de terre. Sciences pharmaceutiques. 2015. dumas-01379512

**HAL Id: dumas-01379512**

**https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01379512**

Submitted on 11 Oct 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE PICARDIE JULES VERNE UFR DE PHARMACIE

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Soutenue publiquement le 29 juin 2015,

Par Pauline Carlier-Loy

# Mentha spicata : Description et Utilisations en thérapeutique et en agriculture comme antigerminatif sur la pomme de terre

**JURY**

Président :

Mr Emmanuel BAUDRIN, Professeur

Membres :

Mr Roland MOLINIE, Maître de conférences

Mme Stéphanie SOUART, Docteur en pharmacie

Thèse n°

**Remerciements**

Je souhaite remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de mes études et à la réussite de ce travail.

Madame et Messieurs les membres du Jury :

Monsieur Emmanuel BAUDRIN, Professeur de Chimie physique, qui me fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Monsieur Roland MOLINIE, Maître de conférences en Pharmacognosie, qui m'a guidée et encadrée tout au long de ce travail. Merci pour votre patience et vos nombreux conseils.

Madame Stéphanie SOUART, docteur en pharmacie, qui a accepté de faire partie de mon jury et qui m'a appris beaucoup durant toutes ces années. Merci pour le temps que vous m'avez consacré.

Je remercie également le personnel de la bibliothèque universitaire du Pôle Santé d'Amiens pour l'aide apportée dans les recherches bibliographiques.

Ma famille et mes amis :

Mes parents, qui m'ont toujours soutenue, encouragée et surtout supportée, et sans qui rien n'aurait été possible. Merci pour tout ce que vous faites pour moi et pour votre patience. Merci Maman pour ton écoute et ta disponibilité.

Quentin, pour ton soutien et ta patience, pour tout ce que tu m'apportes au quotidien. Merci pour ton aide durant toutes ces années et pour l'élaboration de ce travail.

Audrey, ma sœur, pour ton écoute et ton soutien au cours de ces longues années, merci à Alexis pour ses talents d'informaticien.

Noémie, Sophie, Stéphane et tous les amis de fac, merci pour votre écoute, vos conseils et tous les bons moments passés ensemble.

Ma famille, en particulier Maud et Martine pour le temps passé à me soutenir dans les nombreux moments de doute et les corrections de texte, et à Mamy Claudette pour tout ce qu'elle m'apporte depuis 27 ans.

L'équipe de la pharmacie de la Baie de Somme, pour votre soutien et vos encouragements. Merci à Nathalie et Mr Souart pour avoir participé à ma formation et pour l'expérience apportée.

Tous mes amis, vous qui m'entourez et m'apportez tant…

Merci

# Sommaire

Sommaire .....4

Glossaire.....7

Table des figures .....8

Introduction .....10

Partie I : Botanique et composition chimique de *Mentha spicata* .....11

I. Historique .....12

1. Histoire de la menthe verte .....12

2. Origine .....13

II. Etude botanique .....14

1. Classification .....14

1.1. Place dans la classification .....14

1.2. Noms vernaculaires .....15

2. Description.....16

2.1. L'appareil végétatif.....16

2.2. L'appareil reproducteur .....17

III. Culture et récolte .....20

1. Importance de la photopériode et de la température .....20

2. Nature du sol .....20

3. Fertilisation .....21

4. Préparation du sol.....21

5. Multiplication .....21

6. Entretien de la plantation .....22

7. Irrigation.....23

8. Parasites de la Menthe verte .....23

8.1. Les chenilles de noctuelles .....23

8.2. Les altises .....23

8.3. Les pucerons .....23

8.4. Les cicadelles .....23

9. Maladies de la menthe verte ..... 24
9.1. La rouille ..... 24
9.2. L'oïdium ..... 24
10. Récolte ..... 25
11. Séchage ..... 25
12. Extraction par distillation à la vapeur d'eau ..... 25
IV. L'huile essentielle ..... 27
1. Définition d'une huile essentielle ..... 27
2. Législation des huiles essentielles ..... 27
3. Propriétés physique et chimiques de l'huile essentielle de menthe verte ..... 28
3.1. Propriétés physiques ..... 28
3.2. Composition chimique ..... 28
Partie II : Intérêts de *Mentha spicata* en thérapeutique ..... 37
I. Activités thérapeutiques ..... 38
1. Activité antifongique ..... 38
1.1 Efficacité de l'huile essentielle ..... 38
1.2 Mode d'action de l'huile essentielle ..... 39
2. Activité antibactérienne ..... 40
3. Activité antioxydante ..... 41
4. Activité larvicide sur différentes espèces de moustiques ..... 42
5. Effet antinauséeux et antiémétique ..... 44
6. Activité anti-androgène ..... 45
7. Activité antispasmodique ..... 46
8. Autres allégations médicinales de la plante ..... 48
II. Utilisations de la menthe verte ..... 48
1. Toxicité des composants ..... 48
1.1. Allergie cutanée ..... 48
1.2. Cas des cétones ..... 49
2. Toxicité générale ..... 49

2.1. Précautions d'emploi .....49
2.2. Contre-indications.....49
2.3. Effets indésirables .....49
2.4. Interactions médicamenteuses .....49
*3.* Voies d'utilisation de l'huile essentielle de *Mentha spicata*.....50
4. Conservation .....51
4.1. Conditions de conservation et de stockage des HE .....51
4.2. Devenir des constituants de l'huile essentielle de menthe .....51
Partie III : La pomme de terre : germination et antigerminatifs .....52
I. Son histoire .....53
II. Etude botanique .....55
1. Classification .....55
2. Description.....56
2.1. Appareil aérien .....56
2.2. Appareil souterrain.....58
2.3. La germination.....63
2.4. La tubérisation.....63
II. Les antigerminatifs .....65
1. Procédés antigerminatifs classiques .....65
1.1. Procédés thermiques.....65
1.2. Procédés chimiques et naturels .....66
1.2.5. Comparatif des différentes méthodes.....86
Conclusion .....90
Bibliographie .....92

## Glossaire

AIA : Auxine, hormone végétale dont la forme majoritaire est l'Acide Indole 3-acétique

ABA : Acide abscissique, phytohormone qui intervient dans la dormance et l'inhibition de la germination

BHT : Hydroxytoluène butylé qui est un puissant antioxydant

Gamétophyte : Individu issu d'une méiospore et produisant des gamètes

Gamopétale : Corolle d'une seule pièce dont les pétales sont soudés entre eux

Ovaire supère : se distingue de l'ovaire infère par sa position au niveau du point d'insertion des pièces florales. L'ovaire supère est situé au-dessus du plan d'insertion des pièces florales, l'ovaire infère en dessous

Sessile : Feuille, fleur ou fruit directement attachés à la tige (absence de pétiole)

Sub-sessile : Presque sessile

Zygomorphe : caractérise une fleur qui présente une symétrie bilatérale

## Table des figures

Figure 1 Feuilles de *Mentha spicata* .....17
Figure 2 Fleur de *Mentha spicata*.....18
Figure 3 : Pustules de la rouille sur une feuille de *Mentha spicata* .....24
Figure 4 : Oïdum sur les feuilles de *Mentha spicata*).....24
Figure 5 : Récolte de *Mentha spicata*.....25
Figure 6: Distillation de la menthe verte .....26
Figure 7 : Chromatogramme GC/MS d'huile essentielle de Menthe verte issue d'Inde...29
Figure 8 : Molécule de carvone .....33
Figure 9 : Molécule de limonène .....34
Figure 10 : Voie de biosynthèse du limonène et de la carvone.....35
Figure 11 : MIC (µl/ml) et MFC (µl/ml) des huiles essentielles de *M.piperita* et *M.spicata* et de leurs principaux constituants.....39
Figure 12 Effet de différentes concentrations d'huiles essentielles de *M. spicata* sur l'ergostérol contenu dans la membrane plasmatique d'*A.flavus*.....40
Figure 13 Activité antibactérienne exprimée en MIC (µg/ml) .....41
Figure 14 : Activité antioxydante des huiles essentielles en comparaison au BHT .....42
Figure 15 Activité larvicide de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur 3 espèces de moustiques.....43
Figure 16 Pourcentage de mortalité des 3 moustiques selon la concentration de l'huile (a), du limonène (b), du *cis*-carvéol (c) et de la carvone (d).....43
Figure 17 : Sévérité des épisodes de nausées et vomissements .....44
Figure 18 : Résumé de l'amélioration des différents paramètres .....45
Figure 19 : Effet de la carvone sur les contractions obtenues par le carbachol .....47
Figure 20 : Effet de la carvone sur les contractions obtenues par une forte concentration en KCl .....47
Figure 21 : Parmentier .....55
Figure 22 : Etapes de l'enchaînement des axes .....57
Figure 23 : Vue d'ensemble de la pomme de terre .....58
Figure 24 : Description du tubercule.....60
Figure 25 : Le tubercule .....60
Figure 26 : Différentes formes de tubercule .....61
Figure 27 : Chlorprophame .....67
Figure 28 : Hydrazide maléique .....70
Figure 29 : Ethylène.....72
Figure 30 Sucrage des pommes de terre en stockage .....76

Figure 31 Cinétique d'accumulation du glucose en conservation .....77
Figure 32 Effet de la menthe sur le méristème et les tissus vasculaires après 2 jours de traitement .....78
Figure 33 Méristème des bourgeons après 7 jours de traitement .....78
Figure 34 Apparition d'un bourgeon axillaire après lavage à l'eau .....79
Figure 35 Cas particulier des variétés à faible dominance apicale, comme la Nicola .....79
Figure 37 : Comparaison du Biox-M au CIPC sur Variété Agata .....81
Figure 36 : Action antigerminatives de différentes molécules en comparaison au CIPC.81
Figure 38 : Comparaison du Biox-M au CIPC sur variété Bintje .....82
Figure 39 Efficacité des antigerminatifs sur la nécrose des germes selon leur poids .....82
Figure 40 Effet de l'huile essentielle de menthe (MEO) sur le poids des tubercules après 6 mois de stockage .....83
Figure 41 Taux de ramollissement des pommes de terre traitées par l'huile essentielle de menthe .....83
Figure 42 : Résultats technologiques des huiles de menthes et du CIPC.....84
Figure 43 : Résultats statistiques .....84
Figure 44 : Résultats technologiques Arvalis.....85
Figure 45 : Coûts de différentes méthodes antigerminatives.....86
Figure 46 : Synthèse comparative des différentes molécules.....87

# Introduction

Depuis la Préhistoire, les sorciers et sorcières ont acquis des connaissances poussées sur les plantes, et la médecine traditionnelle utilise la phytothérapie depuis des siècles. L'aromathérapie, du grec « arôma » : arôme et « therapeia » : soin, cure, qui utilise les extraits aromatiques actifs des plantes est plus récente. Ces substances actives sont produites naturellement par la plante comme système de défense contre les attaques extérieures (climat, insecte…). De nombreuses études scientifiques confirment aujourd'hui l'activité des huiles essentielles et les placent comme des alternatives potentielles à certaines pratiques allopathiques.

Il existe à l'heure actuelle un engouement du public pour les médecines et pratiques naturelles. Des scandales sanitaires récents ont éclaboussés la médecine classique créant une ouverture supplémentaire à la phyto-aromathérapie dans de nombreux domaines.

L'huile essentielle de menthe verte, extraite d'une plante largement répandue, est, par exemple, utilisée depuis longtemps pour ses propriétés aromatiques et thérapeutiques, et elle est désormais retrouvée dans un nouveau domaine d'application : l'agriculture.

Dans une première partie, la botanique de *Mentha spicata* et les différents modes de récolte seront développés afin d'expliquer les grandes différences de composition retrouvées pour l'huile essentielle selon les conditions de récolte. Il est important de noter que la composition est le facteur d'impact principal de l'activité de l'huile essentielle.

Dans une seconde partie, les indications thérapeutiques de l'huile essentielle seront ainsi mises en évidence, de la plus importante à celles retrouvées dans une minorité de chémotypes. L'utilisation de ces huiles n'est pas anodine, des précautions d'emploi sont donc nécessaires.

L'activité antigerminative de l'huile essentielle représente la cible des dernières recherches sur *Mentha spicata.* Les avantages de l'arrivée récente de cette huile dans le domaine agricole seront explicités dans une dernière partie, en comparaison avec les antigerminatifs chimiques classiques.

## Partie I : Botanique et composition chimique de *Mentha spicata*

Le genre *Mentha*, comme le genre *Lavandula,* est un groupe qui comprend de nombreuses espèces : plus de 25, largement cultivées dans de nombreux pays, mais originaires de régions tempérées et subtropicales d'Europe et d'Afrique. Cette répartition fait de la menthe, aujourd'hui, la plante probablement la plus répandue et la plus célèbre de nos plantes médicinales et aromatiques.

Une longue liste de propriétés a été attribuée aux différentes espèces de menthes : elles sont utilisées régulièrement pour leurs arômes en cuisine, et comme antiseptiques et agents antimicrobiens. La menthe verte est sûrement la plus connue, c'est l'espèce retrouvée dans bon nombre de jardins. C'est une plante aromatique très facile à cultiver, voire envahissante.

# I. Historique

## 1. Histoire de la menthe verte

Le genre Mentha compte un très grand nombre d'espèces et les hybridations successives entraînent une certaine confusion dans leur identification. Il est donc impossible de mettre un nom botanique sur les espèces de Menthe évoquées dans l'Antiquité.

La menthe a été célébrée dans la mythologie grecque et latine au travers de la nymphe Mentha, la fille du dieu des rivières. Hadès, le dieu des enfers marié à Perséphone en tomba amoureux. L'épouse jalouse tua Mentha et la piétina jusqu'à la réduire en pièces. Hadès la transforma en plante aromatique qui séduisait par son parfum. La menthe fût alors considérée comme bénéfique contre le mal.

La plante était déjà connue des Egyptiens. Il a été retrouvé des fragments de plante séchée dans des tombeaux remontant aux XIIIe et XVIIe siècles av. J.-C., elle était utilisée pour la conservation des momies (Bourgeois L 2009). Probablement en raison de son fort arôme, la menthe était utilisée avec le myrte et le romarin durant les cérémonies funéraires, afin de masquer l'odeur des cadavres.

Les penseurs grecs étaient opposés à Aristote et Hippocrate qui disaient que la menthe tuait le courage tant elle incitait à l'amour et en interdisaient donc l'utilisation par les soldats. Le temps leur a donné raison mais c'est loin d'être sa seule vertu (Sommerard JC 2012). Dioscoride et Pline affirmaient qu'elle constituait un facteur de stérilité : « la menthe tue le fœtus et s'oppose à la reproduction en empêchant la coagulation du sperme (Staub H 2013). »

A la fin du VIIIe ou au début du IXe siècle, Charlemagne a fait rédiger un ordonnancement, le capitulaire De Villis (« Capitulare Caroli Magni de villis vel curtis imperia libus ») par un moine bénédictin, l'abbé Ansegis (Teuscher 2005). Il regroupe un certain nombre d'ordres ou de recommandations à l'intention des gouverneurs de ses domaines. Cet acte législatif est surtout connu pour son article 70 qui contient la liste d'une centaine de plantes que les domaines royaux, les monastères et les fermes, doivent cultiver et où l'on retrouve la culture de la menthe. Trois cultures sont mentionnées pour les domaines impériaux : Sisymbrium, Menta (une « menthe sauvage ») et Mentastrum. La thérapeutique du Moyen-Age fait fréquemment appel à ces diverses espèces, le Sisymbrium représentant approximativement la menthe verte (Fournier PV 2010). Elle était utilisée pour traiter les rhumes ou certains troubles digestifs. Le terme de menthe apparait en 1275 dans la littérature française.

Au XVIe siècle, les menthes sont encore utilisées pour de multiples emplois qui en faisaient une véritable thérapeutique, tandis qu'elles ont ensuite progressivement atteint un rôle secondaire, qui est aujourd'hui le leur. La menthe verte est actuellement utilisée surtout

en Angleterre, aux Etats-Unis, au Moyen et Proche-Orient, dans les Balkans, en France et en Inde, principalement comme épice, surtout en accompagnement de plats salés.

## 2. Origine

Les origines de la menthe sont encore bien imprécises, la zone géographique de départ étant un des rares faits où les auteurs se retrouvent : elle viendrait d'une vaste région englobant le Nord de l'Afrique, le bassin méditerranéen, l'Europe et le Proche-Orient. Elle fut introduite en Grande-Bretagne par les Romains. Elle s'est ensuite diffusée sur l'ensemble du globe, jusqu'en Amérique du Nord, au Japon et en Australie. Elle pousse naturellement au Maroc.

Elle est aujourd'hui retrouvée partout dans le monde, d'ailleurs elle est parfois considérée comme envahissante. La diversité des sols et les multiplications ont donné de nombreuses espèces, certaines études ont d'ailleurs montré que *Mentha spicata* serait le résultat d'une hybridation entre *Mentha longifolia* et *Mentha suaveolens*.

# II. Etude botanique

## 1. Classification

### 1.1. Place dans la classification

Les espèces et variétés de menthes sauvages sont très nombreuses et s'hybrident facilement, leur classification est donc très difficile.

Une vingtaine d'espèces de *Mentha* sont répertoriées et donnent naissance à de nombreux hybrides. Dans les noms botaniques, un « x » précédant le nom de l'espèce permet de les identifier comme pour *Mentha x piperita*. Les principaux caractères retenus pour les différencier sont constitués par la morphologie des inflorescences (verticilles, capitule, épi), la présence ou l'absence de poils à la gorge du calice ou à la face interne de la corolle, le caractère sessile ou non de la feuille.

La menthe verte fait partie du règne des **plantes** (Plantae) qui regroupe, avec le règne des animaux, l'ensemble des êtres vivants. Lorsque Linné créa la classification moderne, ils devinrent le végétal et l'animal.

C'est une plante terrestre, avec des rameaux dressés, ce qui la fait appartenir à l'embranchement des **Embryophytes** (APG III 2009).

Le sous-embranchement des **Trachéophytes** auxquelles elles sont rattachées forme le clade le plus évolué des Embryophytes : les plantes de ce groupe possèdent un appareil conducteur assurant la circulation des liquides ou sèves.

La menthe verte dépend de la super-classe des **Spermatophytes**, le clade terminal des Trachéophytes. La reproduction de cette section comporte deux innovations majeures : le gamétophyte reste inclus à l'intérieur de la spore et la fécondation n'est plus tributaire de l'eau extérieure.

Sa classe, les **Angiospermes**, est immense et des plus variables. Elle se différencie des gymnospermes par la présence d'un ovaire et d'un fruit, de plus les organes reproducteurs se groupent en fleurs bisexuées et le gamétophyte femelle est le siège d'une double fécondation.

Les **Eudicots**, où l'on retrouve notre menthe, est le plus vaste ensemble des Angiospermes. Ce sont les plantes à fleurs pourvues de 2 cotylédons et d'un pollen à 3 apertures.

Les **Astéridées**, leur sous-classe, est l'un des principaux clades des Eudicots selon la classification phylogénétique APG III de 2009. Ce sont les Eudicots à pétales et carpelles soudés :ce qui assure, entre autres, une meilleure protection des organes reproducteurs.

Le clade des **Euastéridées I**de la classification APG III comprend l'ordre des **Lamiales**. La corolle y est zygomorphe, souvent bilabiée, ce qui entraîne la perte de 1 voire 3 étamines.

On retrouve la menthe dans la famille des **Lamiacées**, une famille assez homogène. La forme de la fleur et la présence d'huiles essentielles signent cette famille, tout comme les feuilles opposées (Dupont 2012).

Enfin le genre ***Mentha*** se différencie par son inflorescence : les entre-nœuds sont très courts et les feuilles réduites à des bractées, de plus la corolle est quasiment régulière.

La classification des menthes se fait selon la forme générale de l'inflorescence : les fleurs s'organisent en cymes bipares qui se contractent en glomérules ou en verticilles ; ***Mentha spicata*** fait partie des menthes dont les verticilles forment des épis terminaux. Mais c'est la composition chimique qui permet la classification de celle-ci, par l'huile essentielle : la menthe verte est riche en carvone.

Le nom de l'espèce est toujours suivi par le nom abrégé du premier botaniste qui l'a décrite, il s'agit ici de Linné, abrégé L.

De nombreuses variétés de *Mentha spicata* L. sont connues, parmi lesquelles on trouve le plus fréquemment :

- *Mentha spicata L. var. glabra* (glabre)
- *Mentha spicata L. var. crispa* (crépue, frisée)
- *Mentha spicata L. var. nahna* (du Maroc)

### 1.2. Noms vernaculaires

- Nom commun : menthe verte, menthe douce, menthe chewing-gum, menthe des jardins, menthe romaine, menthe sauvage, baume vert, menthe dite « nanha »
- Nom botanique : *Mentha spicata* L., *Mentha viridis* L.
- Nom anglais : spearmint, green-mint
- Nom allemand : grüne-minze, Marokkanische Minze
- Nom espagnol : Yerba (Hierba) buena verde
- Nom italien : Menta verde, Menta romana

Différentes espèces de menthe

Outre la menthe verte, le groupe se compose de nombreuses autres espèces de menthes dont les plus courantes sont la menthe poivrée (*Mentha x piperita*), la menthe des champs (*Mentha x arvensis*), la menthe pouliot (*Mentha x pulegium*) ou encore la menthe aquatique (*Mentha x aquatica*) mais il en existe beaucoup d'autres (menthe bergamote

(*Mentha citrata*), menthe suave (*Mentha suaveolens*), menthe sylvestre (*Mentha longifolia*), menthe crépue (*Mentha crispa*),….

La menthe poivrée ou menthe sauvage est sans doute la plus répandue, elle se caractérise par des tiges velues et violacées et des feuilles ovales et dentelées de couleur vert foncé à bleu ou rouge. Ses fleurs regroupées en épis sont de couleurs roses voir violacées. Elle a une forte teneur en menthol (45%).

La menthe des champs ou menthe japonaise est reconnaissable à la forte odeur mentholée qu'elle dégage lorsque l'on frotte ses feuilles ovales et pointues. Ses fleurs sont disposées en couronnes de couleur lilas. Sa teneur en menthol est la plus forte de toutes les variétés de menthe, entre 70 et 80% pouvant même atteindre 90% (Hussain 2010).

La menthe pouliot est caractérisée par son odeur citronnée particulière qui lui donne des vertus d'éloignement contre les insectes en particulier les puces. Contrairement aux autres espèces, ses feuilles sont plutôt rondes et peu dentelées et sa teneur en menthol est faible (20%).

La menthe aquatique ou menthe à grenouille par son appellation, se plaît particulièrement dans les milieux détrempés ou immergés. Elle est composée de feuilles ovales, une tige de couleur pourpre et des fleurs mauves en verticilles.

## 2. Description

La menthe verte appartient à la famille des Lamiacées, qui comprend 6500 espèces dispersées sur une aire géographique très étendue. C'est une famille très homogène : une Lamiacée est facile à reconnaître. Ce sont le plus souvent des plantes herbacées et des arbustes producteurs d'huiles essentielles, dont l'odeur se dégage par simple attouchement. En effet, la localisation des huiles essentielles est très externe ; elles se forment dans des poils à essence et se localisent sous la cuticule qui se soulève (Dupont 2012). La forme de la fleur (une corolle zygomorphe avec perte de l'étamine supérieure) et la présence d'huiles essentielles signent donc l'appartenance à cette famille. L'appareil végétatif comprenant une tige à section carrée et des feuilles opposées sont aussi des caractéristiques.

### 2.1. L'appareil végétatif

La menthe verte est une plante vivace dressée, de moins d'un mètre de hauteur et d'une odeur agréable, forte et très caractéristique (Teuscher 2005).Elle a un goût plus sucré que

les autres menthes sauvages. C'est une herbe fortement ramifiée, généralement glabre, rameuse et rhizomateuse.

Elle est pourvue d'une racine pivotante qui dure plus de trois ans. Des rhizomes souterrains longs, rampants et chevelus et des stolons qui donnent de nombreuses tiges, assurent sa multiplication végétative.

Les tiges sont de sections quadrangulaires (carrées), à peu près dépourvues de poils, dressées (orthotropes) et généralement ramifiées (de Monet de Lamarck 1805). Elles sont de couleur pourpre.

**Figure 1 Feuilles de *Mentha spicata* (Source: http://www.gmenga.fr/aromatiq/Menthe.html consulté en février 2015)**

Le feuillage (Figure 1) est habituellement vert profond sur les deux faces mais les jeunes feuilles sont généralement plus claires. Les feuilles sont gaufrées, sub-sessiles, ovales-lancéolées ou oblongues-lancéolées, de 4 à 9 cm de longueur. Elles sont fortement dentées en scie, pointues et sans poil (Grosjean 1990). Elles sont opposées et décussées par paires à chaque nœud. La base des feuilles embrasse légèrement la tige. Ces feuilles ont une odeur et une saveur aromatique caractéristiques.

### 2.2. L'appareil reproducteur

- **Les inflorescences**

Les inflorescences sont situées à l'aisselle des feuilles supérieures. Elles sont condensées en glomérules et simulent autour de la tige un verticille de fleurs. Elles se composent d'épis terminaux obtus et courts.

Les bractées sont glabres ou ciliées, linéaires, égalant environ les fleurs. Les pédicelles sont glabres également (Dupont 2012).

- **La fleur**

Les fleurs (Figure 2) sont petites, blanchâtres à mauve, et forment des épis terminaux étroits et pointus (Paris 1971). Elles sont zygomorphes et hermaphrodites. Les épis sont peu

denses, longs, grêles et discontinus (par étage, espacés les uns des autres). Elles fleurissent de juillet à octobre.

**Figure 2 Fleur de *Mentha spicata (*Source: http://www.gmenga.fr/aromatiq/Menthe.html consulté en février 2015)**

- **Le périanthe**

Les fleurs comportent un calice en forme de clochette, glabre à la base ou cilié. Il est gamosépale, divisé en cinq dents linéaires et inégales.

La corolle est gamopétale et presque régulière, à tube court. Elle est typiquement bilabiée, d'où le nom de Labiées donné par les premiers botanistes : une lèvre supérieure formée de deux pétales supérieurs, l'autre des trois pétales inférieurs (Bruneton 1999).

- **L'androcée**

L'androcée est à quatre étamines qui dépassent ordinairement la corolle. Les étamines sont saillantes et de taille identique.

- **Le gynécée**

Les fleurs sont hypogynes : l'ovaire est en position supère. Elles comportent, disposés sur un disque nectarifère toujours présents, deux carpelles soudés qui se subdivisent chacun

par une fausse cloison en deux demi-loges, chacune contenant un ovule. Le style unique qui semble partir de la base est dit gynobasique : il est terminé par deux stigmates.

Le diagramme floral est le suivant :

$$\overset{\frown}{5S} + \underbrace{\overset{\frown}{5P} + 4E} + \underline{\overset{\frown}{2C}}$$

**⌒ : soudure des pièces florales dans un même verticille**

**└──┘ : soudure de verticilles différents**

**C : ovaire supère**

**S : sépale**

**P : pétale**

**E : étamine**

**C : carpelle**

Le fruit est un tétrakène. C'est un fruit sec et lisse, logé au fond d'un calice persistant, chaque demi-carpelle donnant naissance à un akène élémentaire.

## III. Culture et récolte

La menthe verte est une plante vivace qui pousse essentiellement sur des sols riches profonds et frais. Elle forme des stolons aériens ou souterrains, à port buissonnant ou rampant. Le développement des menthes étant assez prolifique, il est recommandé de placer des ardoises verticalement dans le sol pour contrôler l'étalement des plantes. (Teuscher 2005).

### 1. Importance de la photopériode et de la température

La menthe verte n'a pas d'exigence stricte en matière de photopériode, contrairement à la menthe poivrée qui exige une longueur de jour d'environ 16 heures. Elle supporte les endroits ombragés (Elfadl 2002).

Elle est cultivée en régions tempérées, en terrains humides et ombragés, mais elle supporte le froid (Paris 1971). Elle ne semble pas très exigeante car elle fleurit depuis l'Ecosse jusqu'au Sahara.

La croissance végétative est fortement diminuée en période froide (photopériode inférieure à 10 heures et températures inférieures à 10°C au minimum et 25°C au maximum). La sensibilité de la menthe à la température est accentuée par le caractère vivace de la plante qui peut subsister pendant plus de 10 ans. Des observations sur le terrain ont montré que des températures maximales de l'ordre de 30°C donnent une croissance optimale, pour autant que la fertilisation azotée et l'irrigation soient suffisantes (Elfadl 2002).

### 2. Nature du sol

Elle semble indifférente au pH du sol. Le système racinaire de la menthe est peu profond, il exige donc un sol peu compact, perméable et légèrement argileux. Sa culture réussit particulièrement bien dans les sols profonds non compacts, riches en humus et bien drainés à pH allant de 5,5 à 8. Un sol trop acide pourra subir un chaulage alors qu'un sol trop calcaire sera rejeté (Aumont 1993). Le sol ne doit pas être trop humide car il favoriserait l'attaque de la plante par la rouille.

Il est recommandé de recommencer la plantation après 3 ans de culture, et de ne pas cultiver la même parcelle pendant 5 à 6 ans. Un précédent cultural de céréales ou de culture maraîchère est bénéfique pour la plante.

## 3. Fertilisation

Divers éléments minéraux sont essentiels au développement de la plante (Elfadl 2002). S'ils ne sont pas assez concentrés, un apport extérieur est nécessaire :

Les macro-éléments les plus utiles pour la plante sont l'azote, le potassium, le calcium, le magnésium, le phosphore et le soufre. Ils permettent une augmentation du rendement en huile essentielle ou de sa teneur, ou une résistance plus élevée vis-à-vis des parasites.

Les micro-éléments sont puisés en plus faible quantité ; les plus concernés sont le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre.

La menthe verte a également besoin de matières organiques, et l'apport de fumier peut s'avérer indispensable (Auburn 2008).

## 4. Préparation du sol

Le sol est préparé comme pour la culture du blé ou d'autres céréales : il faut le labourer, le herser et le fertiliser. Mieux le sol est préparé, moins il est coûteux d'éradiquer les mauvaises herbes.

Plusieurs labours sont nécessaires pour préparer le sol, ils sont effectués à l'automne après l'épandage des fumiers. Ils ont pour but d'ouvrir la terre et de la retourner en profondeur afin d'aérer le sol. Ils permettent aussi d'enfouir les résidus des cultures précédentes et les pathogènes. Ce travail s'effectue le plus souvent avec une charrue à socs (avec une arête tranchante qui coupe la terre horizontalement) ou une charrue à disques (avec un disque de forme concave très marquée qui permet une bonne capacité de retournement).

Cette étape est suivie d'un déchaumage dans la majorité des cas, pour enfouir les chaumes et effectuer un travail superficiel pour préparer le semis.

C'est une plante vivace, il est donc recommandé de faire une nouvelle plantation au bout de 3 ans. La terre sera labourée pour qu'un autre semis ou une autre plantation puisse remplacer la menthe.

La mise en culture est faite principalement à la main, et souvent entre octobre et novembre, ou au printemps.

## 5. Multiplication

- **Par les rhizomes**

La menthe se multiplie seule par ses rhizomes : ils se forment pendant la période de végétation et permettent le redémarrage de la végétation après la mauvaise saison grâce à

leurs réserves. On prélève ces rhizomes à l'automne pour les planter instantanément sur la terre préparée.

- **Par division des touffes**

Le pied mère est déterré et divisé en plusieurs pieds Au printemps, surtout en avril, on prélève les anciennes touffes dont on prélève plusieurs pieds qui mesurent entre 4 et 5 cm, on les plante ensuite en lignes écartées de 30 à 40 cm.

- **Par bouturage**

Le bouturage de la menthe verte consiste à couper la tige en-dessous d'un nœud pour encourager la formation de racines. Il s'effectue en août ou septembre en pépinière. Il faut couper les extrémités des rameaux et enlever les feuilles les plus basses, puis planter sur la moitié de la hauteur à une dizaine de centimètres les unes des autres. Les boutures sont mises en terre au printemps suivant.

- **Par semis**

Ce procédé est peu utilisé, il ne l'est que pour la menthe verte (voire exceptionnellement pour la menthe pouliot). Le semis est effectué au printemps, de façon clairsemée et peu profonde.

## 6. Entretien de la plantation

- **Le désherbage**

Plusieurs espèces sont considérées comme compétitives vis-à-vis de la menthe verte, comme le chiendent, le liseron des champs ou les chénopodes. La lutte contre les mauvaises herbes est donc considérée comme primordiale pour le bon développement des plantations.

Ces plantes parasites rendent la récolte plus difficile et peuvent abriter des insectes parasites. Le désherbage est donc effectué par binage ou par l'ajout d'un désherbant (de façon manuelle ou chimique). Il s'effectue après la première récolte.

- **Le binage**

Les binages ont lieu pendant la culture, quand les adventices atteignent au minimum 20 cm. Ils permettent en plus d'ameublir la couche superficielle de terre et ainsi de l'aérer ; ce qui limite les effets desséchants du soleil.

## 7. Irrigation

La menthe est constituée d'une racine pivotante et de rhizome très nombreux mais elle s'enracine peu profondément, elle a donc besoin d'un sol humide et d'apports hydriques fréquents : elle nécessite environ 1500 mm/an et on arrose à chaque fois que les 10 premiers centimètres du sol sont secs.

## 8. Parasites de la Menthe verte

L'attaque des plants par des parasites déprécie la qualité de l'huile essentielle et ses qualités : ils ne peuvent donc être commercialisés.

### 8.1. Les chenilles de noctuelles

L'adulte est un papillon de nuit qui mesure environ 2 cm de longueur. Les femelles déposent les œufs isolément sur les feuilles supérieures. Ils éclosent après quelques jours de ponte et ce sont les larves qui mangent les feuilles. L'attaque a lieu préférentiellement au printemps et par temps sec et chaud.

Les feuilles sont donc percées et couvertes d'excréments.

### 8.2. Les altises

Les altises ou puces sont de petits coléoptères qui perforent les feuilles en période de sécheresse.

### 8.3. Les pucerons

Les pucerons sont des petits insectes de couleurs variées qui possèdent un rostre qui leur permet de sucer la sève sous la feuille. Après une infestation importante, la feuille se déforme et s'enroule sur elle-même.

Ils sont également vecteurs de maladies : ils sucent la sève de plants malades et transportent les virus aux plants voisins.

### 8.4. Les cicadelles

Ce sont aussi des parasites qui recouvrent les feuilles d'un voile blanchâtre. Tous ces parasites peuvent être neutralisés grâce à des insecticides autorisés sur les cultures maraîchères.

## 9. Maladies de la menthe verte

Ces maladies se propagent par le vent et leur développement est favorisé par la chaleur et l'humidité.

### 9.1. La rouille

C'est la principale maladie fongique de la menthe. Elle est causée par le champignon *Puccinia menthae.* L'infestation se caractérise par l'apparition de petites pustules orangées sur les feuilles et les tiges à la fin de l'été et à l'automne. Les feuilles se déforment et tombent et la croissance de plante est diminuée.

Figure 3 : Pustules de la rouille sur une feuille de *Mentha spicata*
(http://www.omafra.gov.on.ca/CropOp/fr/herbs/culinary/mint.html consulté en décembre 2014)

### 9.2. L'oïdium

Il se développe avec un temps humide et chaud et est caractérisé par un feutrage blanc (Figure 4) et d'aspect farineux sur la surface des feuilles. Les plants se dessèchent et meurent.

**Figure 4 : Oïdum sur les feuilles de *Mentha spicata***
(http://www.omafra.gov.on.ca/CropOp/fr/herbs/culinary/mint.html consulté en décembre 2014)

Ces maladies sont combattues avec des produits phytosanitaires.

## 10. Récolte

La récolte peut se faire tout au long de l'année, surtout d'août à octobre. Elle se fait manuellement, avec une petite faucille, ou de façon automatisée (Figure 5). La coupe s'effectue au ras du sol ou à quelques centimètres selon la hauteur de la tige. Les tiges feuillées sont récoltées avant floraison.

Deux à trois récoltes sont possibles par an, selon la température et la luminosité.

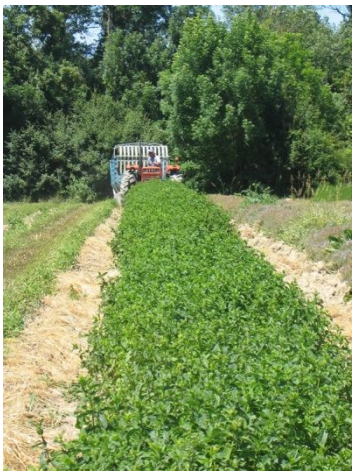


**Figure 5 : Récolte de *Mentha spicata***

## 11. Séchage

De nombreux produits ne sont pas disponibles toute l'année et différentes méthodes de conservation permettent leur utilisation à toutes les saisons : congélation ou séchage.

La déshydratation par séchage est une méthode traditionnelle et très répandue. Le séchage par convection est le plus fréquent : la plante humide est placée dans une enceinte où règne un flux gazeux chaud et sec. Les différences gradients de température et de pression partielle de l'eau permettent un transfert de chaleur du gaz vers la plante et donc un transfert d'eau de la plante vers le gaz (Touati 2008).

## 12. Extraction par distillation à la vapeur d'eau

L'hydrodistillation est un procédé physique qui permet d'extraire les huiles essentielles de la feuille de menthe par la vapeur d'eau.

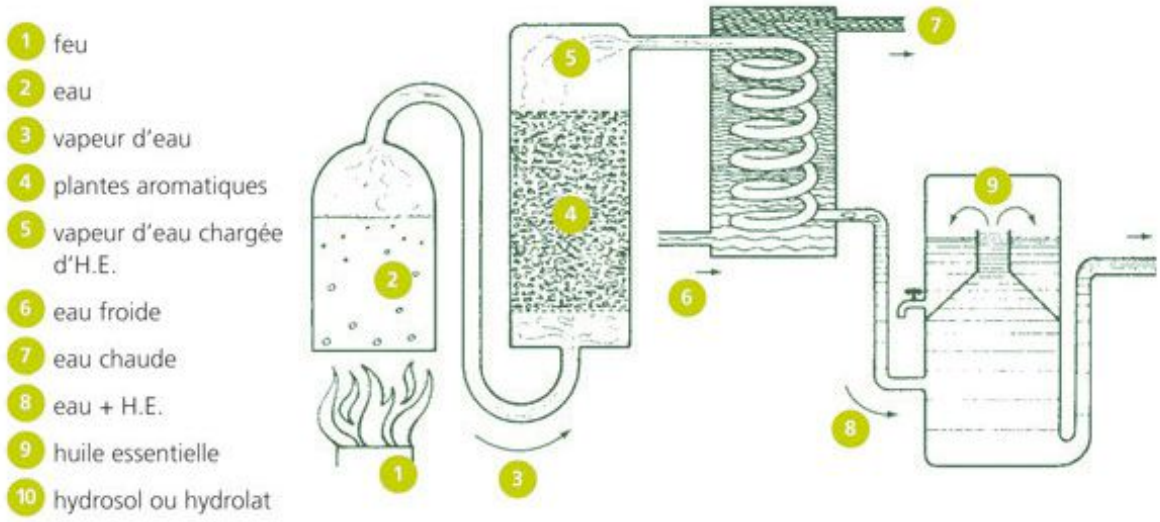



Figure 6: Distillation de la menthe verte (http://www.kisskissbankbank.com/floraluna-un-alambic-a-energies-renouvelables consulté en janvier 2015)

La première cuve permet d'obtenir de la vapeur d'eau après chauffage sur le feu. La vapeur arrive dans la seconde cuve qui contient la plante aromatique (ici la menthe) : c'est le procédé d'extraction. La vapeur se charge en huiles essentielles après passage sur la plante, puis le mélange sort de la cuve pour traverser un serpentin réfrigérant où la vapeur d'eau se condense. Le liquide arrive donc dans l'essencier : l'huile essentielle étant de densité inférieure à l'eau, elle flotte sur l'hydrolat (eau de distillation) et se recueille à la partie supérieure.

# IV. L'huile essentielle

## 1. Définition d'une huile essentielle

Selon la Commission de la Pharmacopée Européenne, une huile essentielle est un « produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition. La matière première végétale peut être fraîche, flétrie, sèche, entière, pulvérisée ou contusée (pulvérisée grossièrement), à l'exception des fruits du genre Citrus qui sont toujours à l'état frais ».

Selon la norme NF T 75-006 de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) une huile essentielle est définie comme le « produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus, soit par distillation sèche. L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques ».

## 2. Législation des huiles essentielles

Il n'existe pas de définition juridique des huiles essentielles actuellement. Celles-ci peuvent donc être régies selon leur utilisation par les réglementations des produits chimiques, des produits cosmétiques, des médicaments ou encore des produits alimentaires.

L'article L.4211-1 du Code de la santé publique (CSP) du 1er mai 2012 (http://legifrance.gouv.fr) explique que sont réservées aux pharmaciens … 6° La vente au détail et toute dispensation au public des huiles essentielles dont la liste est fixée par décret ainsi que de leurs dilutions et préparations ne constituant ni des produits cosmétiques, ni des produits à usage ménager, ni des denrées ou boissons alimentaires ». Le décret n° 2007-1198 du 3 août 2007 modifiant l'article D.4211-13 du CSP nous donne cette liste dont la vente est réservée aux pharmaciens: grande absinthe (*Artemisia absinthium*) ; petite absinthe (*Artemisia pontica*) ; armoise commune (*Artemisia vulgaris*) ;armoise blanche (*Artemisia herba alba*) ; armoise arborescente (*Artemisia arborescens*) ; chénopode vermifuge (*Chenopodium ambrosioides* et *Chenopodium anthelminticum*) ;hysope (*Hyssopus officinalis*) ; moutarde jonciforme (*Brassica juncea*) ; rue (*Ruta graveolens*) ; sabine (*Juniperus sabina*) ; sassafras (*Sassafras albidum*) ; sauge officinale (*Salvia officinalis*) ; tanaisie (*Tanacetum vulgare*) ; thuya du Canada alias cèdre blanc (*Thuya occidentalis*) et cèdre de Corée (*Thuya Koraenensis*), dits "cèdre feuille" ; thuya (*Thuya plicata*).

## 3. Propriétés physiques et chimiques de l'huile essentielle de menthe verte

On trouve l'huile essentielle de menthe verte sous le terme de menthe crépue dans la 10e édition de la Pharmacopée Française : « L'huile essentielle de menthe crépue (appelée également « spearmint oil ») est obtenue par entraînement à la vapeur d'eau des parties aériennes récemment cueillies de *Mentha spicata L.* »

C'est un liquide jaune pâle ou jaune verdâtre quand elle a été récemment distillée ; elle devient plus foncée et visqueuse avec la conservation. L'odeur caractéristique correspond à celle des feuilles.

### 3.1. Propriétés physiques

Densité : 0,917 à 0,937

Indice de réfraction : 1,484 à 1,491

Angle de rotation optique : -60° à -47°

Solubilité : elle est soluble à 20°C dans une partie d'alcool à 80°C. La solution devient opalescente par dilution avec de l'alcool à 80°C.

### 3.2. Composition chimique

#### *3.2.1. Rappel sur les huiles essentielles*

Les huiles essentielles constituent des mélanges complexes de composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques diverses. Il n'est pas rare de reconnaître plusieurs dizaines voire une ou deux centaines de constituants dans une huile essentielle (Roux 2008).

Les différentes méthodes d'analyse instrumentale moderne peuvent être utilisées : la chromatographie en phase gazeuse (CPG), la résonnance magnétique nucléaire (RMN) et le couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CPG-SM).

Les dérivés les plus retrouvés sont les terpènes et les terpénoïdes. Les terpènes sont définis par la formule $(C_5H_8)_n$ et suivant la valeur du n on obtient les hémiterpènes (n=1), les monoterpènes (n=2),les sesquiterpènes (n=3),les triterpènes (n=6), les tétraterpènes (n=8), puis les polyterpènes. Les terpénoïdes sont des terpènes modifiés où sont regroupés les hydrocarbures, les esters, les lactones, les aldéhydes, les alcools, les acides, les cétones, les phénols, les oxydes et autres.

On trouve également des composés aromatiques (dérivés du phénylpropane (C6-C3), bien que minoritaires et d'autres composés d'origines diverses.

### 3.2.2. Composition de l'huile essentielle de menthe verte

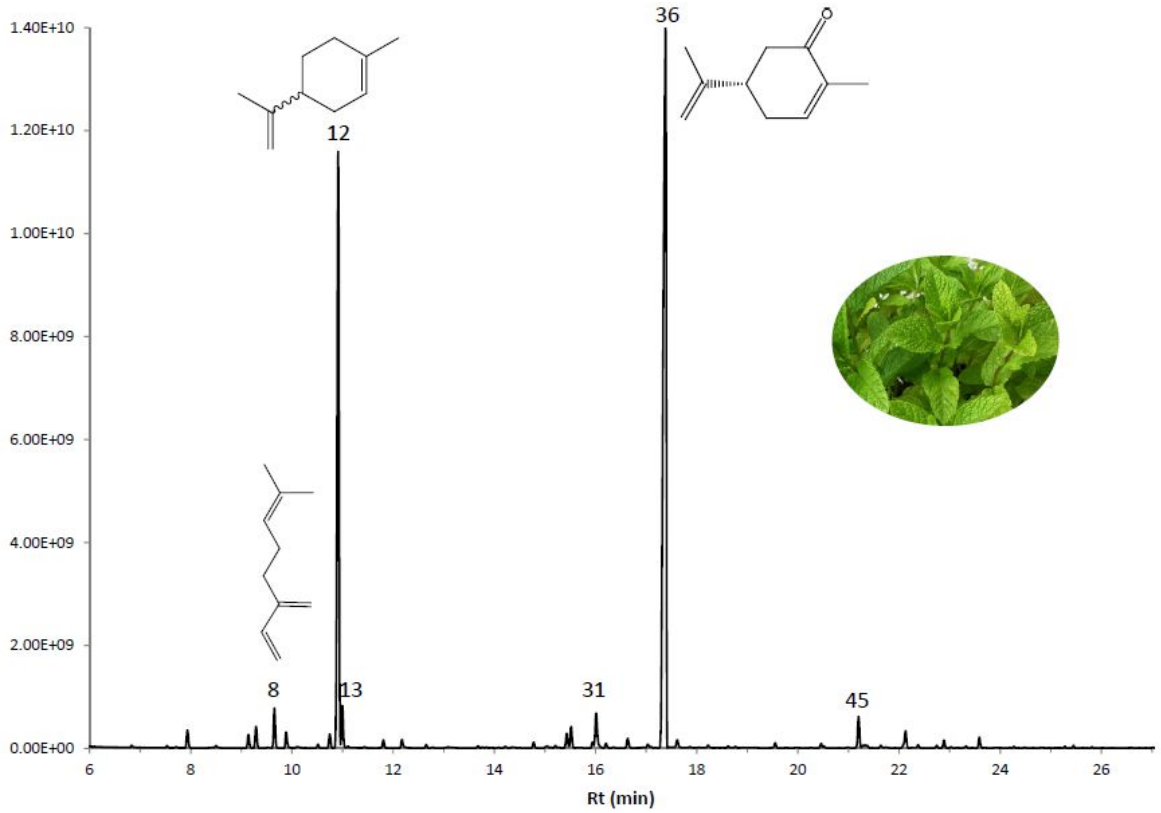



**Figure 7 : Chromatogramme GC/MS d'huile essentielle de Menthe verte issue d'Inde (Gedane 2013)**

La chromatographie d'une huile essentielle de *Mentha viridis* récoltée en Inde et analysée en Suisse est ici présentée à titre indicatif, tant les chémotypes sont variés selon les saisons, la nature du sol et la température (Roux 2008).

Les principaux composants de l'huile essentielle de *Mentha spicata* peuvent être classés en 2 groupes :

- Les cétones avec la carvone prédominante puis la menthone et la dihydrocarvone
- Les hydrocarbures avec le limonène majoritaire puis le β-myrcène et les α- et β-pinène

On trouve des groupes plus minoritaires comme dans la majorité des huiles essentielles :

- Les éthers avec le 1,8-cinéole
- Les alcools et ses esters avec le menthol et l'acétate de menthyle

### *3.2.3. Comparaison de la composition chimique d'huiles essentielles de* Mentha spicata *issues de différentes localisations*

La pharmacopée française définit, pour chacun des principaux composants de l'huile essentielle, une concentration comprise entre les valeurs suivantes :

| | |
|---|---|
| Limonène | 2,0 à 25 pour cent |
| Cinéole | inférieur à 2,0 pour cent |
| Menthone | inférieur à 2,0 pour cent |
| Menthofuranne | inférieur à 2,0 pour cent |
| Isomenthone | inférieur à 2,0 pour cent |
| Acétate de menthyle | inférieur à 2,0 pour cent |
| Menthol | inférieur à 2,0 pour cent |
| Pulégone | inférieur à 0,5 pour cent |
| Carvone | 55 à 67 pour cent |

Toutefois, les compositions sont très variables selon les lieux de récolte et donc les conditions climatiques et les conditions de récolte, comme on peut le voir dans le tableau suivant:

| **Composition chimique (%)** | **Menthe INDE (Kedia 2014)** | **Menthe Portugal (Martins 2012)** | **Menthe ALGERIE (Boukhebti 2011)** | **Menthe INDE (Chauhan 2011)** |
|---|---|---|---|---|
| **α-pinene** | 0.78 | 0.9 | 0.32 | 0.3 |
| **β-pinene** | 10.58 | 0.9 | 0.607 | 0.6 |
| **β-myrcene** | 10.90 | - | 0.379 | 0.4 |
| **Limonene** | 12.50 | 20.1 | 6.129 | 11.9 |
| **1,8 – Cineole** | 12.63 | 1.5 | 3.8 | 0.4 |
| **Carvone** | 22.40 | 41.1 | 59.4 | 66.4 |
| **Terpinen – 4 – ol** | | 0.6 | 1.12 | 2 |
| **Pulegone** | | 0.5 | 0.224 | |
| **Menthone** | | 0.1 | | |
| **β – caryophyllène** | | 4 | 2.969 | 0.4 |
| **α - humulène** | | | 0.187 | 0.3 |

Les composants cités précédemment sont repris dans le tableau suivant, avec la famille à laquelle ils appartiennent et leur formule.

| Nom | Famille chimique | Molécule | Source (consultées en mars 2015) |
|---|---|---|---|
| **α-pinene** | Hydrocarbure monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/80-56-8.gif |
| **β-pinene** | Hydrocarbure monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/19902-08-0.gif |
| **β-myrcene** | Hydrocarbure monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/123-35-3.gif |
| **Limonene** | Hydrocarbure monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/138-86-3.gif |
| **1,8 – Cineole** | Oxyde monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/470-82-6.gif |
| **R-carvone** | Cétone | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/6485-40-1.gif |
| **Terpinen – 4 – ol** | Alcool monoterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/562-74-3.gif |
| **Pulegone** | Cétone | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/89-82-7.gif |
| **Menthone** | Cétone | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/89-80-5.gif |
| **β – caryophyllène** | Hydrocarbure sesquiterpénique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/87-44-5.gif |
| **α - humulène** | Sesquiterpène monocyclique | | http://www.chemicalbook.com/CAS/GIF/6753-98-6.gif |

### *3.2.4. Les cétones*

#### 3.2.4.1. Définition

Les cétones sont caractérisées par la présence du groupement fonctionnel carbonyle formé d'un atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène. Leur formule brute est $C_nH_{2n}O$ et leur groupement fonctionnel est C=O (Charpentier 2008).

#### 3.2.4.2. Localisation des cétones

On retrouve les cétones par exemple dans (Jouault 2012) :

- L'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus Labil*) : pinocarvone
- Le Romarin (*Rosmarinus officinalis verbenoniferum*) : verbenone
- La Menthe poivrée (*Mentha piperita*) : menthone…

#### 3.2.4.3. Propriétés thérapeutiques des cétones

Les cétones sont des molécules très actives et rapidement toxiques, dont les effets sont inversés selon la posologie.

-à faible dose, les cétones sont calmantes, sédatives et hypothermisantes.

-à forte dose ou à des doses faibles répétées (effet cumulatif), elles sont neurotoxiques, stupéfiantes et convulsivantes, voire abortives pour certaines.

Elles ont un effet mucolytique et lipolytique et sont anticoagulantes tout en activant le processus de cicatrisation. Elles sont immunostimulantes et faiblement antiseptiques, et ont en plus des propriétés vermifuges, antimycosiques et antiparasitaires (Boukhobza 2014).

#### 3.2.4.4. Toxicité des cétones

On observe différents stades selon les doses employées !

- A dose subtoxique : vertiges, malaises, confusion, puis obnubilation, stupéfaction accompagnée de troubles de la coordination
- A dose toxique : crise d'épilepsie,
- A dose supratoxique : coma pouvant aller jusqu'au décès.

Les cétones passent en effet la barrière hémato-encéphalique et viennent déstructurer les gaines de myéline (Jouault 2012).

Les huiles essentielles qui en contiennent sont donc contre-indiquées chez la femme enceinte et allaitante, la personne épileptique, l'enfant et à déconseiller aux personnes sensibles aux cétones.

#### 3.2.4.5. Les cétones de *Mentha spicata*

Plusieurs cétones sont retrouvées dans notre huile essentielle : la carvone, la menthone, la dihydrocarvone, la pipéritone, mais seule la carvone est suffisamment concentrée pour avoir un effet notoire, c'est d'ailleurs elle qui est largement prédominante dans l'huile de *Mentha spicata*.

La carvone (2-méthyl-5-(1-méthyléthènyl2-cyclohexén-1-one) appartient à la famille des terpènes et possède un carbone asymétrique. Elle existe sous deux formes, des énantiomères, qui ont les mêmes propriétés chimiques et physiques, mais un pouvoir rotatoire différent. C'est la R- ou L-carvone que l'on retrouve dans la menthe verte. Son

énantiomère, la S- ou D-carvone est retrouvée dans les essences des graines de carvi. On observe une particularité entre ces 2 énantiomères : ils n'ont pas la même odeur. Cet exemple connu montre que des odeurs très différentes sont provoquées par une interaction olfactive avec deux terpènes qui ne se différencient l'un de l'autre que par leurs qualités d'énantiomères (Johnson 1999).

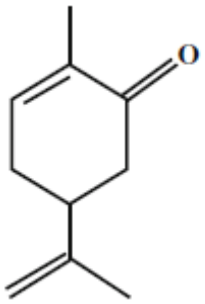



**Figure 8 : Molécule de carvone (Govindarajan 2012)**

### *3.2.5. Les hydrocarbures monoterpéniques*

#### 3.2.5.1. Définition

Ce sont des composés organiques composés exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène, donc d'unités isoprènes. Leur formule brute est donc $C_nH_m$.

Les hydrocarbures peuvent être monoterpéniques (n=10), sesquiterpéniques (n=16), diterpéniques (n=20)… selon le nombre n.

#### 3.2.5.2. Localisation des hydrocarbures

On retrouve des hydrocarbures dans :

- La Ciste ladanifère (*Cistus ladaniferus*) : α-pinène et camphène
- Le Citron (*Citrus limon*) : limonène, β-pinène, γ-terpinène
- Le Fenouil doux (*Foeniculum vulgare* var. *dulce*) : α-pinène, α-phellandrène, γ-terpinène et myrcène.

#### 3.2.5.3. Propriétés thérapeutiques des hydrocarbures

Ils ont une activité propre faible, mais ils viennent souvent nuancer ou compléter l'action des composants plus actifs. Ils sont légèrement antiseptiques, stimulants et expectorants.

Ils agissent sur le système respiratoire, en diffusion, comme décongestionnants et jouent un rôle vasoconstricteur sur le système veineux-lymphatique.

Ils sont antalgiques en utilisation percutanée.

#### 3.2.5.4. Toxicité des hydrocarbures

L'utilisation des terpènes en percutanée doit être limitée dans le temps sinon ils deviennent dermocaustiques. Les huiles essentielles doivent d'ailleurs toujours être diluées à 50% dans une huile végétale.

Les huiles essentielles qui ont une forte concentration en monoterpènes peuvent être néphrotoxiques : il faut les utiliser en petites quantités (Boukhobza 2014).

#### 3.2.5.5. Hydrocarbures dans *Mentha spicata*

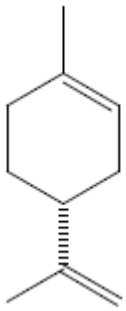


**Figure 9 : Molécule de limonène (Marostica 2007)**

Le limonène (1-méthyl-4-prop-1-èn-2-yl-cyclohexène) entre dans la composition, en 2$^{e}$ position en concentration. C'est un hydrocarbure présent dans de nombreuses huiles essentielles, et en grandes quantités dans les agrumes.

C'est un liquide brillant à odeur fraîche d'agrumes. Il possède des propriétés insecticides (Duvallet 2012). Une étude de 2008 a montré de bons résultats sur l'imprégnation des tissus coton (Hebeish 2008).

### 3.2.6. Biosynthèse

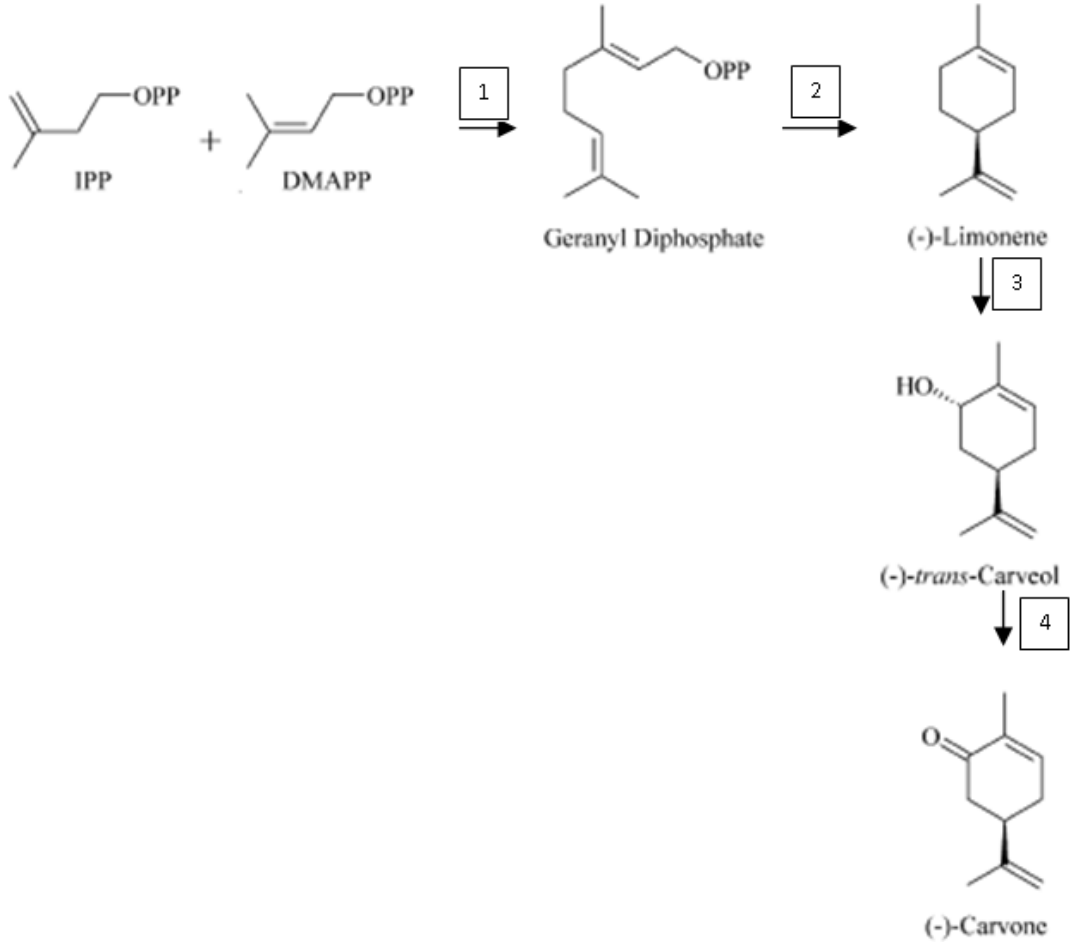



Figure 10 : Voie de biosynthèse du limonène et de la carvone (Carter 2003)

Les terpènes représentent le groupe le plus important dans la composition des huiles essentielles. Ces molécules organiques sont constituées d'un multiple de 5 atomes de carbone et ont pour molécule de base l'isoprène. Celui-ci, sous sa forme réactive, l'IPP (isoprénoylpyrophosphate), se transforme partiellement en diméthylallylpyrophosphate (DMAPP). Ces 2 molécules réagissent ensuite entre elles pour former le GPP (diphosphate de géranyle): le précurseur physiologique naturel commun des monoterpènes ($C_{10}$) (Kaloustian 2012).

La biosynthèse utilise plusieurs enzymes :

1 : La geranyldiphosphate synthase

2 : Limonène synthase

3 : Cytochrome p450 limonène-6-hydroxylase

4 : Carvéo ldeshydrogénase

Cette voie de biosynthèse met en jeu tous les types de réactions classiques : transfert de groupement prényl-, cyclisation et transformation réduction/oxygénation. L'étape catalysée par le cytochrome p450 avec une molécule de NADPH est l'étape la plus délicate.

## Partie II : Intérêts de *Mentha spicata* en thérapeutique

Les réactions chimiques des huiles essentielles sont influencées par leur composition chimique, qui peut varier selon la partie de la plante utilisée, les saisons, les méthodes d'extraction, les conditions écologiques et les temps d'extraction (Isman 2007). Les variations de chémotypes affectent donc directement leur activité biologique.

Les indications thérapeutiques sont donc larges, dues à des composants divers, et les études les plus retrouvées concernent l'activité antifongique, antibactérienne et antioxydante.

# I. Activités thérapeutiques

## 1. Activité antifongique

Les moisissures ont de multiples effets sur la santé. Leur développement dans l'environnement incite à les surveiller, indépendamment des espèces, comme facteur d'allergies, de toxicité et de problèmes structurels des habitations. Beaucoup d'Aspergillus sont responsables de la production de mycotoxines comme les aflatoxines, potentiellement hépato-carcinogènes chez les humains et les animaux (Williams 2004). Les dermatomycoses superficielles sont probablement les maladies contagieuses les plus répandues chez les humains, et deviennent un véritable problème chez les immunodéprimés (Pujol 2002) car les traitements (pour les plus courants synthétiques) ont des effets indésirables et une toxicité résiduelle. C'est pourquoi des études ont été réalisées pour découvrir des méthodes naturelles de traitement, sans effet indésirable.

### 1.1 Efficacité de l'huile essentielle

Les huiles essentielles de menthe poivrée et de menthe verte ont été comparées pour les propriétés antifongiques, selon leurs composants.

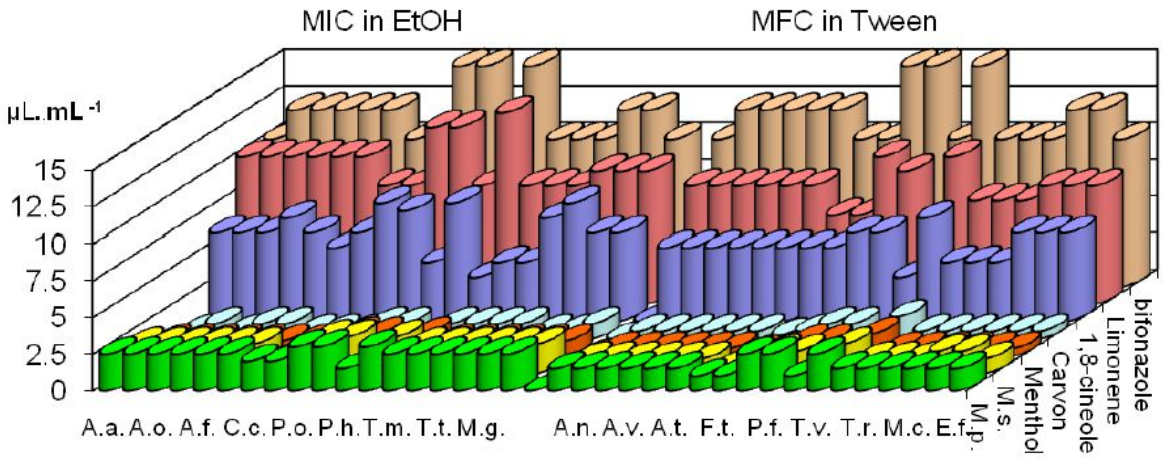
La menthe poivrée est plus riche en menthol, méthylacétate et menthone, et les menthes vertes retrouvées dans les études ont la carvone comme composant principal, puis la menthone ou le limonène.

Les concentrations minimales d'inhibition (MIC) et minimales fongicides (MFC) ont été mesurées dans une étude (Sokovic 2009), la figure 11 montre que *Mentha spicata* possède une plus grande activité fongistatique. En effet, la MFC de la menthe verte, obtenue après une méthode de microdilution dans l'éthanol et dans le Tween, est respectivement de 1.0-2.5 µL/ml et 0.5-2.5 µL/ml ; alors que ces valeurs sont de 1.5-3.0 µL/ml et 1.0-2.5 µL/ml pour la menthe poivrée.

La carvone, le composé majoritaire de notre menthe verte, montre la meilleure activité antifongique en comparaison avec les autres composants, alors que le fongicide utilisé en allopathie, le bifonazole, a un potentiel antifongique moindre par rapport aux huiles de menthe.

L'efficacité de *Mentha spicata* provient donc de sa concentration en carvone, dont l'action est favorisée par une très bonne solubilité dans l'eau.

L'étude de la toxicité de la carvone (DL50= 1640 mg.kg-1) précise que celle-ci peut être utilisée en toute sécurité en thérapeutique et remplacer les fongicides synthétiques dans la prévention et le traitement des maladies chez les humains, les plantes et les animaux




*A.a. - Alternaria alternata, A.n. - Aspergillus niger, A.o. - Aspergillus ochraceus, A.v. - Aspergillus versicolor, A.f. - Aspergillus flavus, A.t. - Aspergillus terreus, C.c. - Cladosporium cladosporioides, F.t. - Fusarium tricinctum, P.o. - Penicillium ochrochloron, P.f. - Penicillium funiculosum, P.h. - Phomopsis helianthi, T.v. - Trichoderma viride, T.m. - Trichosporon mentagrophytes, T.r. - Trichophyton rubrum, T.t. - Trichophyton tonsurans, M.c. - Microsporon canis, M.g. - Microsporon gypseum, E.f. - Epidermophyton floccosum*

**Figure 11 : MIC (µl/ml) et MFC (µl/ml) des huiles essentielles de *M.piperita* et *M.spicata* et de leurs principaux constituants (Sokovic 2009)**

Enfin, les résultats montrent que les MIC et MFC trouvées de *Mentha spicata* sur *Aspergillus flavus* sont plus faibles que toutes les valeurs rapportées dans les diverses études d'huiles essentielles étudiées, parmi lesquelles *Lippia alba* (Shukla 2009), *Cinnamomum glaucescens* (Prakash 2013), *Cinnamomum jensenianum* (Tian 2012) et *Cananga odorata* (Prakash 2012) et également de fongicides synthétiques comme la nystatine (Prakash 2010) ; ces informations confirment les recommandations d'utilisation de l'huile essentielle à des doses inférieures pour une économie notable.

### 1.2 Mode d'action de l'huile essentielle

La membrane des cellules fongiques contient de l'ergostérol, l'équivalent du cholestérol pour les cellules humaines, c'est-à-dire un stérol avec un rôle de fluidité et de précurseur d'autres molécules. C'est une cible connue des fongicides, étant donnée sa localisation : il est facilement accessible dans la membrane et n'est pas retrouvé dans la cellule elle-même. L'effet de notre menthe sur l'ergostérol d'*Aspergillus flavus* a donc été mise en évidence par spectrophotométrie (figure 12), l'ergostérol est significativement diminué à 282 nm de façon dose-dépendante avec l'augmentation des concentrations en huile essentielle (l'absorbance étant inversement proportionnelle à la concentration).

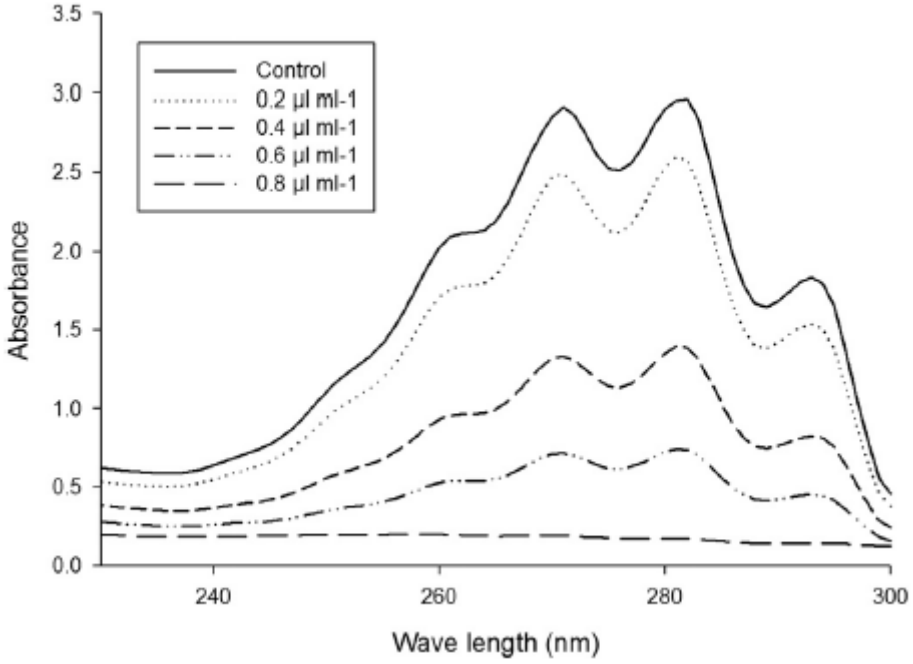



**Figure 12 Effet de différentes concentrations d'huiles essentielles de *M. spicata* sur l'ergostérol contenu dans la membrane plasmatique d'*A.flavus* (Kedia 2014)**

## 2. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne d'une huile essentielle est mesurée dans les études par la méthode de diffusion et déterminée par une concentration minimale d'inhibition MIC (comme précédemment) sur différentes bactéries comme *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

Dans une étude de 2013 (Scherer 2013), l'huile essentielle est obtenue par hydrodistillation à partir des parties aériennes broyées à l'eau distillée d'un chémotype du Brésil. Elle est caractérisée par la présence dominante de carvone là-encore (67%). Dans le test réalisé par la méthode de diffusion, il n'a pas été mis en évidence de formation de halos d'inhibition qui montrerait une activité antimicrobienne, ce qui est probablement dû, d'après les auteurs, à la difficulté de diffusion des composés à travers le milieu (qui a un caractère polaire alors que les composants de l'huile essentielle le sont peu). L'huile essentielle montre par ailleurs une activité importante contre les 2 bactéries étudiées par la détermination de la MIC, mais le staphylocoque est le plus sensible : la concentration finale de 0.67 mg/ml inhibe 100% de sa croissance. Pour *Escherichia coli*, la même concentration n'inhibe que 51.3% du développement.

Une étude sur la composition ((Hussain 2010) de l'huile essentielle récoltée au Pakistan a également étudié son efficacité antimicrobienne et rendu les résultats avec la méthode de diffusion et la MIC. L'HE, riche en carvone (59 à 63% selon la saison), stoppe la croissance

du *Staphylococcus aureus* à une concentration de 78 à 80µg/ml selon la saison (et les petites variations de composition engendrées) et celle d'*Escherichia coli* à 345-349 µg/ml. A titre de comparaison *Mentha piperita* (dont la menthone est le composé principal) nécessite une plus grande concentration sur *Staphylococcus aureus* (120 µg/ml) mais une plus petite sur *Escherichia coli* (310µg/ml), alors que *Mentha arvensis,* qui a le meilleur profil du groupe Mentha, ne nécessite que 20 à 30 µg/ml sur *Staphylococcus aureus*.

Les composés majoritaires de 3 espèces de menthes, *M.arvensis, M.piperita et M.spicata* : le menthol, la menthone, l'oxyde de pipéritone et la carvone ont également été testés et les MIC sont reportés dans le tableau ci-dessous. C'est le menthol (de *M. arvensis)* qui exerce la plus forte activité antibactérienne. La menthone et la carvone sont toutefois considérées comme montrant une bonne activité également.

| | Menthol | Menthone | Carvone |
|---|---|---|---|
| *Staphylococcus aureus* | 30,0 ± 1,5 | 90,9 ± 4,5 | 80,3 ± 3,2 |
| *Bacillus subtilis* | 30,3 ± 1,2 | 40,5 ± 2,1 | 60,5 ± 3,5 |
| *Escherichia coli* | 80,5 ± 3,8 | 189,1 ± 7,5 | 170,4 ± 7,4 |

**Figure 13 Activité antibactérienne exprimée en MIC (µg/ml)**

A plus grande échelle, les bactéries Gram-positif sont plus sensibles à l'huile essentielle que les bactéries Gram-négatif, ce qui est dû à la paroi cellulaire plus complexe de ces dernières (Boukhebti 2011).

L'ensemble des études montre que les menthes possèdent un réel potentiel antibactérien. De fortes concentrations de carvone peuvent être utilisées pour expliquer l'usage traditionnel d'huiles essentielles de *M.spicata* dans le traitement de maladies bactériennes. L'augmentation des résistances aux antibiotiques et des maladies infectieuses, associées aux effets indésirables des antiobiotiques place l'huile essentielle comme une bonne alternative au traitement allopathique. Cependant, de nouvelles études sont à mener pour mieux comprendre les bases scientifiques de la phytothérapie appliquée (Boukhebti 2011).

## 3. Activité antioxydante

De nombreuses plantes contiennent des antioxydants naturels qui agissent sur la production endogène de radicaux libres. Une étude de 2012 a étudié les propriétés biologiques d'huiles essentielles provenant de plantes aromatiques, parmi lesquelles *Mentha spicata* L. (Martins 2012). L'activité antioxydante a été étudiée pour différentes concentrations d'huile essentielle (de 1 à 4mg/ml), par le test du DPPH (mesure de l'activité

de piégeage de ce radical libre) et par l'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique. L'activité mesurée pour la plus forte concentration testée est de 31,5% par le test du DPPH et de 14,9% par l'acide linoléique, alors qu'elles sont respectivement pour ces 2 tests de 90 et 88,7% pour l'antioxydant de référence synthétique, le BHT (Figure 14). L'activité antioxydante augmente avec les concentrations, et pour chaque concentration les résultats entre les 2 paramètres sont différents : la capacité de piégeage des radicaux libres est supérieure à la capacité d'inhiber l'oxydation de l'acide linoléique.

| Sample | DPPH Scavenging Activity (%) | | | Inhibition of Linoleic Acid Oxidation (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Essential Oils | 1 mg/mL | 2 mg/mL | 4 mg/mL | 1 mg/mL | 2 mg/mL | 4 mg/mL |
| *M. spicata* | 26.5±0.4 [a] | 26.9±0.7 [a] | 31.5±1.2 [b] | 7.8±1.9 [g] | 13.0±1.3 [h] | 14.9±1.9 [h] |
| *F. vulgare* | 26.3±1.8 [a] | 26.5±1.6 [a] | 26.6±1.6 [a] | 15.1±1.2 [h] | 16.8±1.5 [h] | 17.3±1.4 [h] |
| *R. officinalis* | 25.5±0.7 [c] | 28.0±1.3 [c,d] | 29.6±1.8 [d] | 4.5±1.3 [i] | 8.3±1.7 [g] | 13.0±1.2 [h] |
| BHT (Control) | 78.1±3.8 [e] | 88.6±1.6 [f] | 90.8±0.4 [f] | 45.9±1.6 [j] | 71.6±1.4 [l] | 88.7±1.9 [m] |

**Figure 14 : Activité antioxydante des huiles essentielles en comparaison au BHT (Martins 2012)**

D'après Martins 2012 et l'étude des compositions de différentes plantes, cette propriété est due à la présence, pour la menthe verte, de limonène et de carvone. Des études mettent en avant le fait que les meilleurs antioxydants naturels montrent une grande activité par synergie entre les composants pour créer un spectre large et donc un système de défense efficace contre les attaques de radicaux libres (Chauhan 2011)

Le pouvoir antioxydant de l'huile de menthe pourrait être le résultat d'une capacité de donneur d'hydrogène d'un composant, généralement associé à la présence d'un agent réducteur dans l'huile.

## 4. Activité larvicide sur différentes espèces de moustiques

De nombreuses études reprennent les activités larvicides d'huiles essentielles extraites de différentes plantes. En effet, les moustiques sont des insectes qui se nourrissent de sang et servent de vecteurs à la diffusion de maladies humaines comme la malaria (*Anopheles stephensi*), la fièvre jaune, la dengue (*Aedes aegypti*) ou encore la filariose lymphatique (*Culex quinquefasciatus*). Ils occasionnent aussi des allergies, des simples rougeurs aux réactions systémiques comme l'angio-œdème (Peng 1999). Les insecticides synthétiques causent un certain nombre de problèmes écologiques, comme le développement de souches d'insectes résistantes, ils sont toxiques par la contamination des sols, de l'eau et de l'air, et

les produits naturels peuvent être une bonne alternative à ces produits chimiques. En effet, ils sont biodégradables, efficaces et sûrs pour l'environnement. Des études se sont donc concentrées sur des composants d'huiles essentielles extraites de plantes. La figure 15 montre une activité larvicide quasi-totale sur 24h de l'huile essentielle de menthe concentrée à 125ppm sur les moustiques évoqués plus haut. Nous voyons de plus que la $CL_{50}$ est de 49.71, 56.08 et 62.62ppm pour *A.stephensi*, *A.aegypti* et *C.quinquefasciatus* respectivement (Govindarajan 2012). A titre comparatif, ces $CL_{50}$ sont respectivement de 58, 54 et 49ppm pour l'huile de *Zantoxylum armatum* (Tiwary 2007), de 130, 119 et 140 pour l'huile essentielle extraite des feuilles de *Clausena anisata* (Govindarajan 2010) et Ansari et al. ont relevé des valeurs de de $CL_{50}$ de 112, 82 et 87 concernant *Pinus longifalia* sur les trois moustiques étudiés (Ansari 2005). L'étude montre donc de remarquables propriétés larvicides.

| Mosquito | Concentration | 24-h Mortality (%) | $LC_{50}$ (ppm) (LCL–UCL) | $LC_{90}$ (ppm) (LCL–UCL) | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *A. stephensi* | Control | 0.0±0.0 | 49.71 (21.96–78.96) | 100.99 (77.30–170.33) | 33.956[a] |
| | 25 | 43.1±1.2 | | | |
| | 50 | 54.8±1.8 | | | |
| | 75 | 69.1±1.4 | | | |
| | 100 | 83.2±1.8 | | | |
| | 125 | 99.6±1.6 | | | |
| *A. aegypti* | Control | 0.0±0.0 | 56.08 (31.64–7.87) | 110.28 (86.10–176.89) | 29.677[a] |
| | 25 | 37.2±0.8 | | | |
| | 50 | 49.8±1.2 | | | |
| | 75 | 61.2±1.4 | | | |
| | 100 | 78.6±1.8 | | | |
| | 125 | 98.1±1.2 | | | |
| *C. quinquefasciatus* | Control | 0.0±0.0 | 62.62 (41.41–83.72) | 118.70 (94.44–181.18) | 25.365[a] |
| | 25 | 31.6±1.8 | | | |
| | 50 | 45.4±1.6 | | | |
| | 75 | 58.6±1.2 | | | |
| | 100 | 74.3±1.4 | | | |
| | 125 | 96.8±1.2 | | | |

**Figure 15 Activité larvicide de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur 3 espèces de moustiques**

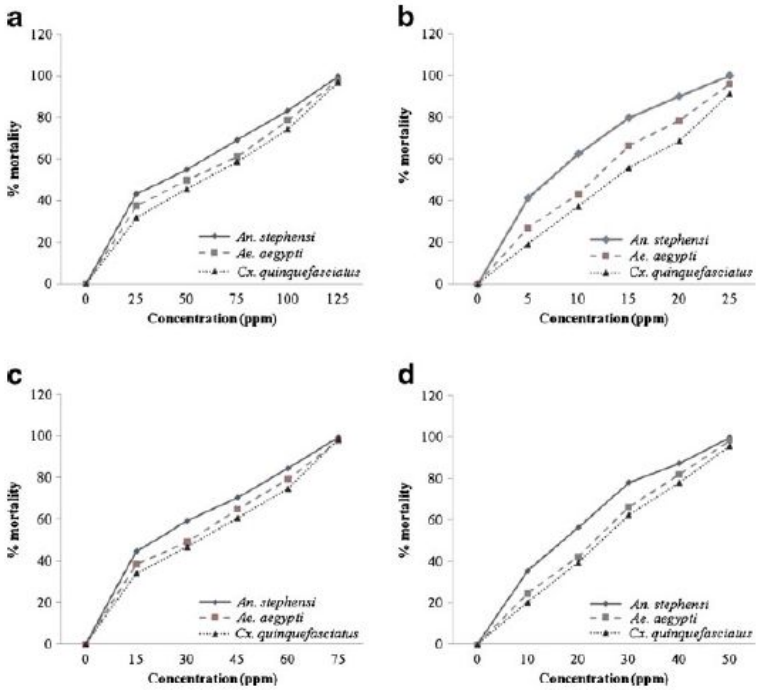



**Figure 16 Pourcentage de mortalité des 3 moustiques selon la concentration de l'huile (a), du limonène (b), du *cis*-carvéol (c) et de la carvone (d)**

L'huile utilisée est une huile essentielle d'Inde dont les composés majeurs sont la carvone (48,60%), le *cis*-carvéol (21,30%) et le limonène (21.30%). La figure 16 montre que c'est le limonène qui est le plus responsable de cette activité, devant la carvone et le *cis*-carvéol. Sa $CL_{50}$ est d'ailleurs de 8.83ppm sur *A.stephensi* alors

qu'elle est de 28.5 pour le *cis*-carvéol, et c'est sur ce moustique que l'huile essentielle est la plus larvicide.

Les résultats obtenus sont en corrélation avec la recherche de composés larvicides naturels, sélectifs et biodégradables.

## 5. Effet antinauséeux et antiémétique

Les nausées et vomissements chimio-induits (NVCI) sont des effets indésirables redoutés par les patients qui débutent un traitement par chimiothérapie anticancéreuse (Koeller 2002). Le mauvais contrôle des NVCI a un impact majeur sur la qualité de vie, les activités quotidiennes, les activités professionnelles, la vie sociale et relationnelle.

Une étude a donc cherché à prouver l'efficacité de la *Mentha spicata* dans cette indication. Le chémotype utilisé pour cette étude est à prédominance de pulégone (56%), et riche en α-terpinéol et limonène. Ce chémotype n'est pas le plus retrouvé dans *Mentha spicata,* ce qui explique une activité peu étudiée.

L'étude menée en 2013 est randomisée, en double-aveugle. Les patients ont été classés en 4 groupes : un groupe recevant l'huile essentielle de *Mentha piperita*, l'autre de *Mentha spicata*, l'autre un placebo et le dernier est le groupe contrôle : les patients (50 pour chaque groupe) reçoivent le même traitement antiémétique que pour les séances de chimiothérapie précédentes (Tayarani 2013). Les patients ont ensuite répertorié le nombre d'épisodes de vomissements puis l'intensité et la fréquence des nausées sur 20 heures après la chimiothérapie ainsi que tout effet indésirable qui survient pendant ce temps, selon le classement suivant :

| | **Grade 1** | **Grade 2** | **Grade 3** | **Grade 4** |
|---|---|---|---|---|
| **Nausées** | Absence | Faible | Modéré | Sévère |
| **Vomissements** | 0 à 1 épisode/24h | < 3 épisodes /24h | > 3 épisodes /24h | > 5 épisodes /24h |

**Figure 17 : Sévérité des épisodes de nausées et vomissements (Tayarani 2013)**

Une réduction de moitié des épisodes de vomissements a été constatée chez les patients traités par l'huile essentielle de *Mentha spicata* par rapport au placebo : 0,6 contre 1,8 pour le placebo. L'intensité des nausées a également été diminuée :

| | Contrôle | Placebo | M. x piperita | M. spicata | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | p value |
| Episodes nauséeux | 3,1 ± 1,3 | 7,2 ± 2,3 | 2,4 ± 2,4 | 3,8 ± 1,2 | <0,0001 |
| Intensité des nausées | 52,8 ± 20,7 | 14,6 ± 9,1 | 42,1 ± 22,7 | 43,9 ± 12,4 | <0,0001 |
| Episodes de vomissements | 1,1 ± 0,4 | 1,8 ± 0,9 | 0,7 ± 0,9 | 0,6 ± 0,3 | <0,0001 |

**Figure 18 : Résumé de l'amélioration des différents paramètres**

Les résultats sont donc positifs dans le contrôle des NVCI par l'huile essentielle de menthe verte. De plus, il n'y a pas eu d'effet indésirable relaté pour l'utilisation des huiles essentielles de menthe. L'huile essentielle de *Mentha piperita* montre toutefois la meilleure efficacité sur la fréquence des épisodes nauséeux (2,4 contre 3,8 pour la menthe verte).

Enfin, leur utilisation est amenée à se développer car le coût du traitement est significativement inférieur au traitement par un antiémétique comme les antagonistes de la HT3.

## 6. Activité anti-androgène

L'hirsutisme dans le syndrome des ovaires polykistiques, conséquence d'une augmentation du taux d'androgènes, cause des problèmes cosmétiques et psychologiques non négligeables. De récentes études de médecine en Turquie ont montré que le thé à la menthe verte a des propriétés anti-androgéniques chez les femmes souffrant d'hirsutisme (Akdogan 2007).

L'étude (Grant 2010) a porté sur 42 volontaires pendant 30 jours. Les sujets prenaient du thé deux fois par jour et les résultats étaient comparés à ceux obtenus avec un thé placebo. Les taux sériques d'androgènes et de gonadotrophines ont été relevés à J0, J15 et J30, ainsi que le degré d'hirsutisme (évalué par un score spécifique : le score de Ferriman-Galwey) et un questionnaire a été utilisé pour évaluer l'amélioration de l'hirsutisme en auto-évaluation.

Les résultats montrent une baisse du taux de testostérone libre et totale, de la LH et de la FSH. L'évaluation subjective par les patients de leur hirsutisme montre une diminution dans le groupe qui prenait de la menthe verte. Le score de Ferriman-Galwey n'a cependant pas montré de baisse notable.

Il est tout de même démontré que la menthe verte a des propriétés anti-androgènes et l'explication du résultat négatif au test de Ferriman-Galwey provient de la relation entre

androgènes, croissance du follicule capillaire et cycle de croissance : la durée de l'étude n'a pas été assez grande. D'autres études ont été menées sur 5 ans et des résultats beaucoup plus significatifs ont été amenés (Ferriman 1961).

## 7. Activité antispasmodique

Les spasmes digestifs sont des contractions intenses et durables des fibres musculaires lisses intestinales. Cette musculature involontaire permet la progression du bol alimentaire dans les intestins et leur contraction brutale est responsable d'une douleur. Cette mobilité gastro-intestinale est sous la dépendance du système parasympathique mettant en jeu l'acétylcholine : c'est ce neurotransmetteur, après fixation sur les récepteurs muscariniques qui active le péristaltisme intestinal et les contractions (Souza 2013).

Les récepteurs muscariniques sont couplés à une protéine G et ceux qui nous concernent sont couplés par une protéine G à une phospholipase qu'ils activent. Il en résulte entre autres, une augmentation des concentrations intracellulaires de calcium (Vaubourdolle 2013) et déclenche ainsi le processus de contraction du muscle lisse intestinal. Les molécules qui sont capables de bloquer le récepteur muscarinique ou le canal calcique ont donc une action antispasmodique (Karaki 1997).

L'augmentation du calcium intracellulaire responsable de la contraction est due soit à un influx via les canaux calciques voltage-dépendants, soit à une libération par les réserves du réticulum sarcoplasmique. Le vérapamil est un inhibiteur des canaux calciques (IC) qui a une action inhibitrice des contractions musculaires lisses. Il a été utilisé dans une étude comme témoin par rapport à la carvone car il est capable de réduire les effets des contractions causées par un stimulus chimique : le carbachol, dont l'impact sur les contractions est dépendant des réserves calciques intracellulaires (une contraction est donc diminuée mais pas inhibée par un IC).La figure 19 montre une diminution significative des contractions déclenchées par le carbachol(CCH) avec la carvone(C), même si elle est moins importante qu'avec le vérapamil(V). Une association carvone-vérapamil ne semble pas avoir d'intérêt.

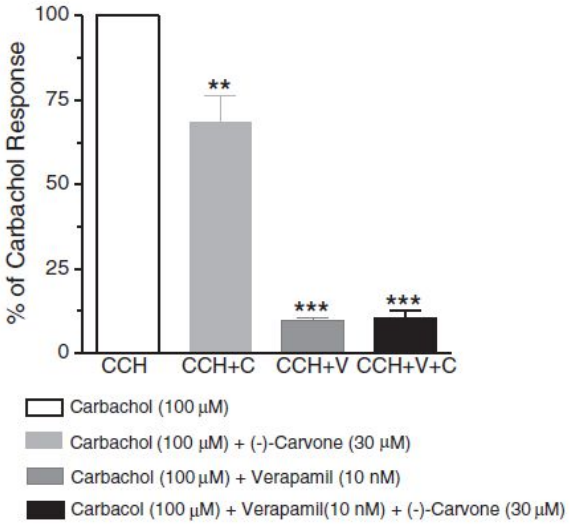



**Figure 19 : (Souza 2013) : Effet de la carvone sur les contractions obtenues par le carbachol**

Il a également été montré que les inhibiteurs calciques peuvent aussi réduire les contractions induites par une forte concentration de potassium (Karaki 1997, Lawson 1989) : des courbes d'activité selon la concentration en carvone ont été enregistrées pour voir si la carvone agit réellement comme un inhibiteur calcique sur cette réduction des contractions.

La figure 20 compare l'efficacité de la carvone en comparaison du vérapamil à concentrations croissantes (de 0.1nmol.$L^{-1}$ à 10µmol.$L^{-1}$ pour la carvone et de 10nmol.$L^{-1}$ à 10 µmol.$L^{-1}$ pour le vérapamil) pendant la phase où les contractions sont induites par une solution à 60mmol.$L^{-1}$ de KCl (KCl60). Durant cette phase, le vérapamil-contrôle a montré un relâchement concentration-dépendant des contractions ($IC_{50}$= 100nmol.$L^{-1}$). En comparaison, la carvone a montré une réponse importante sur le relâchement ($IC_{50}$= 3,6nmol.$L^{-1}$). La carvone agit donc comme un IC, montrant une efficacité environ 100 fois plus forte que le vérapamil.

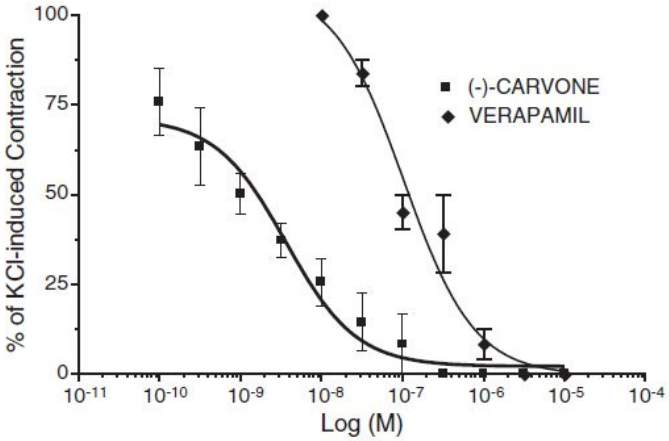



**Figure 20 : (Souza 2013) Effet de la carvone sur les contractions obtenues par une forte concentration en KCl**

Les résultats montrent que la carvone ne peut agir que si il y des spasmes intestinaux et qu'elle agit au-delà de l'activation d'un récepteur spécifique. Son effet d'inhibiteur de canal calcique puissant en fait une alternative thérapeutique intéressante.

### 8. Autres allégations médicinales de la plante

Il est prêté beaucoup de vertus à la menthe verte, et ce, depuis longtemps. Les multiples formes galéniques utilisables (infusion, alcoolat, compresse, baume, inhalation, huile essentielle…) en font une des plantes médicinales les plus connues. Elle est utilisée pour les affections dermatologiques, les troubles digestifs, les troubles fonctionnels digestifs d'origine hépatique, le rhume, le nez bouché ou encore les affections de la bouche et l'oropharynx.

## II. Utilisations de la menthe verte

La menthe est largement utilisée en cuisine : on l'utilise en infusion, le thé à la menthe étant concocté en laissant infuser environ 100 feuilles de menthe fraîche par litre d'eau. Dans le même esprit, elle est l'un des ingrédients du mojito (à consommer avec modération) ou du sirop à la menthe (en faisant bouillir la menthe avec du sucre dans de l'eau).

Elle est également utilisée pour agrémenter les plats : sous forme de pesto ou de vinaigrette, elle peut également être mise en gelée ou simplement ajoutée à la cuisson du poisson ou des légumes. On la retrouve ainsi dans de nombreuses préparations asiatiques ou le tatziki grec.

Connue pour son odeur évoquant les chewing-gums à la chlorophylle, elle s'utilise pour composer des dentifrices et des déodorants. On peut aussi tout simplement mâcher des feuilles de menthe pour l'haleine, ou préparer un bain de bouche.

Elle a également une efficacité contre les nuisibles, on peut déposer des feuilles dans les armoires pour éviter les fourmis.

### 1. Toxicité des composants

#### 1.1. Allergie cutanée

Les principales molécules retrouvées comme responsables de phénomènes allergiques (lactones sesquiterpéniques, phénylpropanoïdes, hydroperoxydes) ne sont pas retrouvées dans *Mentha spicata*. On a remarqué que les huiles essentielles qui ont une action sur les réactions prurigineuses allergiques sont susceptibles, après un usage prolongé, de

déclencher des réactions allergiques chez un sujet hypersensible (comme la Menthe poivrée), dû au menthol que l'on trouve également dans *Mentha spicata*. Le menthol est considéré comme allergène. Le test de tolérance cutanée (application au pli du coude) permet de détecter cette allergie (Franchomme 2001).

### 1.2. Cas des cétones

Les cétones sont les molécules les plus difficiles à manipuler, en raison de leur neurotoxicité comme on l'a vu précédemment.

## 2. Toxicité générale

### 2.1. Précautions d'emploi

La menthe verte n'a pas sa place en utilisation interne chez les enfants de moins de 5 ans. Quant à l'huile essentielle, elle ne peut être donnée aux enfants de moins de 12 ans et aux femmes enceintes ou allaitantes.

Pour l'usage externe, il faut vérifier que l'application se fasse sur une peau propre et qui ne présente pas de lésions.

### 2.2. Contre-indications

Elle est contre-indiquée chez les personnes présentant des troubles hépatiques graves ou des troubles de la vésicule biliaire.

### 2.3. Effets indésirables

A hautes doses en usage interne, la menthe peut provoquer des troubles intestinaux et des céphalées. Elle peut également causer de l'hypertension artérielle.

### 2.4. Interactions médicamenteuses

On a vu précédemment que la menthe verte utilise les mêmes sites d'action que les inhibiteurs calciques pour son activité antispasmodique. Cette action peut donc entraîner une baisse de la fixation des inhibiteurs calciques utilisés en thérapeutique pour diminuer la tension artérielle, et donc limiter leur activité hypotensive.

La menthe verte dégage par ailleurs une forte odeur, donc active ; il est donc conseillé de prendre les traitements homéopathiques à distance du brossage de dents. Ce conseil est prodigué à titre préventif par les homéopathes, la menthe pouvant complexer certaines molécules et inhiber l'action des traitements.

Des études scientifiques actuelles se penchent sur l'action de la menthe sur de nombreuses molécules dont elle empêche l'élimination.

## 3. Voies d'utilisation de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

- Voie cutanée

La voie cutanée est une voie classique d'utilisation des huiles essentielles, mais il est rare de les utiliser pures. La plupart du temps, elles sont à diluer à 5% dans 95% d'une huile végétale (huile de jojoba, d'argan, d'amande douce, d'olive…). Ce sont des corps lipophiles, elles ne restent donc pas en surface, mais traversent les différentes couches de peau et se retrouvent ainsi dans la circulation sanguine (Buronzo 2012).

- Diffusion atmosphérique

La diffusion est le moyen le plus simple de profiter des bienfaits des huiles pour tout le monde. Les composés actifs entrent par absorption par les poumons. Les activités sont multiples, d'un rôle anti-odeur à une efficacité anti-virale, et la diffusion ne doit pas se faire en continu, mais plutôt en 1/4h afin de ne pas irriter les muqueuses. Pour la même raison, les huiles diffusées doivent être choisies avec soin.

- Inhalation sèche et humide

L'huile essentielle peut être déposée sur un mouchoir ou sur un oreiller avant d'être inspirée. Elle peut également être respirée après dilution dans un bol d'eau chaude.

- Voie orale diluée

Cette voie est réservée aux adultes sur avis médical ou officinal. Il ne faut en aucun cas dépasser 3 gouttes par jour et la durée de traitement ne peut dépasser 1 semaine.

## 4. Conservation

### 4.1. Conditions de conservation et de stockage des HE

La relative instabilité des molécules constitutives des HE implique des précautions particulières pour leur conservation. En effet, les possibilités de dégradation sont nombreuses, facilement objectivées par la mesure d`indices chimiques (indice de peroxyde, indice d'acide...), par la détermination de grandeurs physiques (indice de réfraction, pouvoir rotatoire, miscibilité à l'éthanol, densité...) et/ou par l'analyse chromatographique. Les conséquences sont multiples par exemple, photo-isomérisation, photocyclisation, coupure oxydative, peroxydation et décomposition en cétones et alcools, thermo-isomérisation, hydrolyse, transestérification. Ces dégradations pouvant modifier les propriétés et /ou mettre en cause l'innocuité de l'huile essentielle, il convient de les éviter : utilisation de flacons propres et secs en aluminium vernissé, en acier inoxydable ou en verre teinté anti-actinique, presque entièrement remplis et fermés de façon étanche (l'espace libre étant rempli d'azote ou d'un autre gaz inerte), stockage à l'abri de la chaleur et de la lumière. Dans certains cas, un antioxydant approprié peut être ajouté à l'huile essentielle. Dans ce cas, cet additif est à mentionner lors de la vente ou l'utilisation de l'huile essentielle. Par ailleurs, des incompatibilités sérieuses peuvent exister avec certains conditionnements en matières plastiques. Il existe des normes spécifiques sur l'emballage, le conditionnement et le stockage des HE (norme AFNOR NF T 75-001, 1996) ainsi que sur le marquage des récipients contenant des HE (norme NF 75-002, 1996).

### 4.2. Devenir des constituants de l'huile essentielle de menthe

La teneur des composés de l'huile essentielle varie au cours de la conservation (Segur-Fantino 1990) :

- La carvone et les pinènes ont une teneur qui diminue au cours de la conservation
- Le limonène, le cinéole, la menthone, la pulégone ont une teneur qui augmente au cours de la conservation
- La dihydrocarvone et le myrcène n'ont pas de modification de concentration.

## Partie III : La pomme de terre : germination et antigerminatifs

La partie précédente montre que l'huile essentielle de *Mentha spicata* a de nombreuses vertus thérapeutiques, mais qu'elle est à utiliser, comme l'ensemble des huiles essentielles, avec d'infinies précautions et sans oublier la connaissance de sa toxicité. Elle pourrait, par ailleurs, supplanter des molécules de synthèse dans certaines indications et donc apporter une note naturelle et biodégradable.

Il est un domaine où son utilisation est très récente, mais très étudiée tout de même : l'agriculture. Ce dernier a vu l'utilisation des produits phytosanitaires augmenter depuis une cinquantaine d'années pour répondre à une demande de quantité et de qualité à l'échelle mondiale; et ces pesticides sont devenus quasiment indispensables dans les schémas de production actuelle. Cependant, depuis quelques années, l'intérêt des consommateurs se tourne vers des pratiques plus naturelles. Cette dernière partie montre l'utilisation de l'huile essentielle en antigerminatif sur la pomme de terre, après avoir expliqué le phénomène de croissance et de germination du tubercule.

# I. Son histoire

Les premières traces de pomme de terre se trouvent en Amérique du Sud (dans la cordillère des Andes), dans une région proche du lac Titicaca, qui fait aujourd'hui partie du Pérou. Elles coïncident avec les premiers hommes arrivés par l'isthme de Panama : des chasseurs-cueilleurs (Pitrat 2003). Des restes de tubercules datés de 8000 avant J.C. témoignent de son ancienne utilisation, elle est d'ailleurs mentionnée dans de nombreuses légendes et épopées : les Indiens chassaient les alpacas et les guanacos dans la montagne, ils les ont domestiqués et ont remarqué que ces animaux extirpaient des tubercules du sol pour se nourrir. Les populations des hauts plateaux de la cordillère racontaient que le précieux tubercule leur avait été donné pour contrecarrer le pillage de leurs récoltes grâce à sa dissimulation sous la terre (Williot 2008). Les pratiques agricoles ont été développées dans les montagnes et sur la côte à partir de 1900 avant J.C. ; parmi les plantes sauvages, la pomme de terre était donc déjà présente, sous forme diploïde (Rousselle 1996), mais les tubercules sont d'un goût amer et contiennent des alcaloïdes toxiques (qui leur permettent de résister au gel). Une exposition alternée au soleil et au gel permet de diminuer cette amertume : ce qui a permis la consommation de la pomme de terre. Il a ensuite fallu reconnaître et sélectionner des clones moins amers et moins toxiques.

Les Incas ont mis au point une méthode de conservation qui permettait la consommation annuelle des pommes de terre : le chuño. Les plus anciennes traces du chuño ont été découvertes sur les rives du lac Titicaca, ce procédé est réalisé à la période de gel nocturne le plus important : juin-juillet. Les pommes de terre sont étalées et soumises au gel plusieurs nuits de suite, elles sont couvertes pendant la journée pour éviter qu'elles ne noircissent. Puis elles trempent dans l'eau froide des rivières de hautes montagnes, toujours couvertes de paille, pendant plusieurs semaines. Le but est ensuite d'extraire l'humidité et la peau par écrasement avec les pieds puis de les faire sécher au soleil quelques jours : une petite croûte blanche se forme et protège le tubercule pendant plusieurs années.

Le chuño est utilisé tel quel, mais aussi pour l'élaboration de soupes et de dessert où il est utilisé en farine. Il est encore utilisé aujourd'hui.

Par la suite, les Amérindiens favorisèrent des espèces tétraploïdes à tubercules plus développés : la forme qui sera découverte par les conquistadors espagnols. Il faut en effet attendre la diffusion des plants vers le Pérou, puis la conquête de l'Amérique du Sud pour

voir apparaître la pomme de terre en Europe. Il est probable que les espagnols la découvrirent vers 1530 : la plus connue des descriptions est due à un jeune soldat, Pedro Cieza de Léon qui a participé à la conquête de l'Equateur en 1538 et qui l'évoque parmi les habitudes des populations des hauts plateaux dans son livre publié en 1550.

Deux portes d'entrée permettent l'arrivée de la pomme de terre en Europe, l'Espagne vers 1570 par les conquêtes puis les Iles Britanniques un peu plus tardivement par les premiers colons presbytériens en Virginie qui reviennent en Angleterre avec leurs minces denrées. Elle est cultivée en Andalousie en 1573 comme en attestent les comptes de l'hôpital de la Sangre à Séville ; c'est auprès du cloître Los Remedios des Carmélites déchaussées que l'hôpital s'approvisionnait, ordre fondé par Thérèse d'Avila dont la famille était établie en Amérique latine (Grison 1983). Un des habitants quitta Séville pour fonder un cloître à Gênes et il y cultiva la pomme de terre pour son évêque, appelé Bononi, qui souffrait d'un mal qu'il espérait ainsi soigner. C'est en 1586 que Bononi amène la pomme de terre en Belgique en offrant des tubercules au gouverneur de Mons en Hainaut, Philippe de Sivry.

Charles de l'Ecluse, dit Clusius est ensuite un personnage important dans sa diffusion à travers les jardins européens botaniques (Pitrat 2003). L'empereur Maximilien II le charge en 1573 d'entretenir le jardin impérial de Vienne où il reçoit en 1588 deux tubercules de pommes de terre de Philippe de Sivry. Il reçoit ensuite plusieurs dessins de botanistes et les divers échanges montrent une attention particulière portée à la pomme de terre. Il en fait une description et une illustration sous le nom de Papas hispanorum dans son livre « *Ratarium plantarum historia* » publié en 1601. Ce fut donc le botaniste Gaspard Bauhin qui en fit la première description botanique et qui lui donna le nom de *Solanum tuberosum*, puisqu'il imprima les premières illustrations cinq ans auparavant, en 1596.

Elle fut introduite en France par les espagnols et par la Suisse vers 1600. Olivier de Serre lui consacre un article et promulgue des conseils sur sa culture en Ardèche dans son « Théâtre d'agriculture et Mesnage des champs » en 1601. Les invasions et expéditions militaires permettent la suite de l'expansion de la pomme de terre en France puis en Europe.

Longtemps boudée et principalement destinée à l'alimentation du bétail, ses qualités nutritives ont été reconnues par Antoine Augustin Parmentier au 18ème siècle. C'est en effet suite à la grande famine de 1769-1770 que la France commence à se préoccuper de ses productions agricoles. L'Académie des Sciences de Besançon propose alors un sujet de

Figure 21 : Parmentier

concours « L'Etude des substances alimentaires qui pourraient atténuer les calamités d'une disette ». Le premier prix est revenu à Parmentier. C'est lui qui en a montré les qualités à la cour : il est arrivé avec des fleurs de pomme de terre que la reine a mises dans ses cheveux et des tubercules pour la boutonnière du roi ; puis aux savants auxquels a été servi un repas avec 20 plats différents à base de ce légume. Enfin, il a mis un stratagème pour attirer les parisiens du fruit défendu : il faisait surveiller les cultures le jour, mais pas la nuit…

Aujourd'hui, la pomme de terre est servie sur toutes les tables, des plus pauvres aux plus bourgeoises. Sa production est en constante hausse, elle est passée de 1,5 million de tonnes en 1803 à 16 millions de tonnes vers 1930. Depuis l'après-guerre, celle-ci est en régression constante et est actuellement à 4,5 millions de tonnes pour 110 000 habitants.

# II. Etude botanique

## 1. Classification

Lors de la classification classique de Linné, la pomme de terre fut définitivement nommée *Solanum tuberosum* en 1753.

La première partie de la classification APG III est la même que celle reprise dans la partie « Classification » de la menthe vu précédemment. La pomme de terre appartient également à la sous-classe des Astéridées.

C'est par contre à l'ordre des Solanales que la pomme de terre appartient, caractéristique par ses fleurs actinomorphes, gamopétales et à préfloraison de la corolle indupliquée (Judd 2002). Les feuilles y sont simples, alternes, exstipulées.

L'ordre ne comprend que sept familles, parmi lesquelles les Solanacées auxquelles est rattaché notre tubercule. Les plantes ont des tiges à phloème interne et à alcaloïdes divers, avec une inflorescence non scorpioïde et des fleurs à disques nectarifères.

C'est le genre Solanum qui nous concerne ici qui a donné son nom à la famille des Solanacées en étant l'un des principaux représentants. L'inflorescence des plantes de ce genre est une cyme et les fleurs sont hermaphrodites. L'ovaire est supère et les fruits sont des baies.

Les espèces de Solanum tubéreuses ne représentent qu'un petit dixième du genre Solanum. On en connaît environ 200 espèces (Pitrat 2003). Elles sont diploïdes dans la majorité des cas mais peuvent être triploïdes, tétraploïdes, pentaploïdes et hexaploïdes. Notre *Solanum tuberosum* est tétraploïde (2n=4x=48).

## 2. Description

La pomme de terre ou *Solanum tuberosum* est une plante qui fait partie de la famille des solanacées, c'est une plante herbacée vivace même si elle est cultivée de manière annuelle.

### 2.1. Appareil aérien

Nous verrons juste après le principe de germination de la pomme de terre : le tubercule-mère développe plusieurs germes qui vont donner chacun une tige. Les tiges sont d'abord dressées puis vont se coucher pour certaines et devenir rampantes. Elles sont de couleur verte et possèdent généralement des pigments rouge-violacé qui foncent la teinte ; et ont une section circulaire ou triangulaire qui peut atteindre jusqu'à 1m de hauteur.

C'est sur ces tiges aériennes que sont disposées des feuilles de 10 à 20 cm de longueur. Ce sont des feuilles composées, alternes, disposées suivant une spirale le long de la tige de phyllotaxie 5/13, c'est-à-dire qu'il faut faire 5 tours et compter 13 feuilles pour trouver 2 feuilles superposées. Chaque feuille commence par un pétiole puis on trouve 3 à 5 paires de folioles latérales puis une unique foliole terminale. De petites folioles qui sont dites intercalaires ou secondaires selon qu'elles s'insèrent entre les folioles existantes ou au même niveau que celles-ci peuvent apparaître, et permettent de différencier les variétés. Les feuilles matures ont des poils plus épars et plus localisés que les jeunes feuilles qui en sont recouvertes (Rousselle 1996).

Les fleurs naissent toujours à l'extrémité d'une tige. Elles forment une inflorescence en cyme portée par un pédoncule plus ou moins long. Lorsque la première fleur s'ouvre, une nouvelle tige se développe à l'aisselle d'une préfeuille de la fleur terminale comme on peut l'observer sur la figure 22. Chaque inflorescence comporte généralement entre 8 et 10 fleurs mais il peut y en avoir jusque 20.

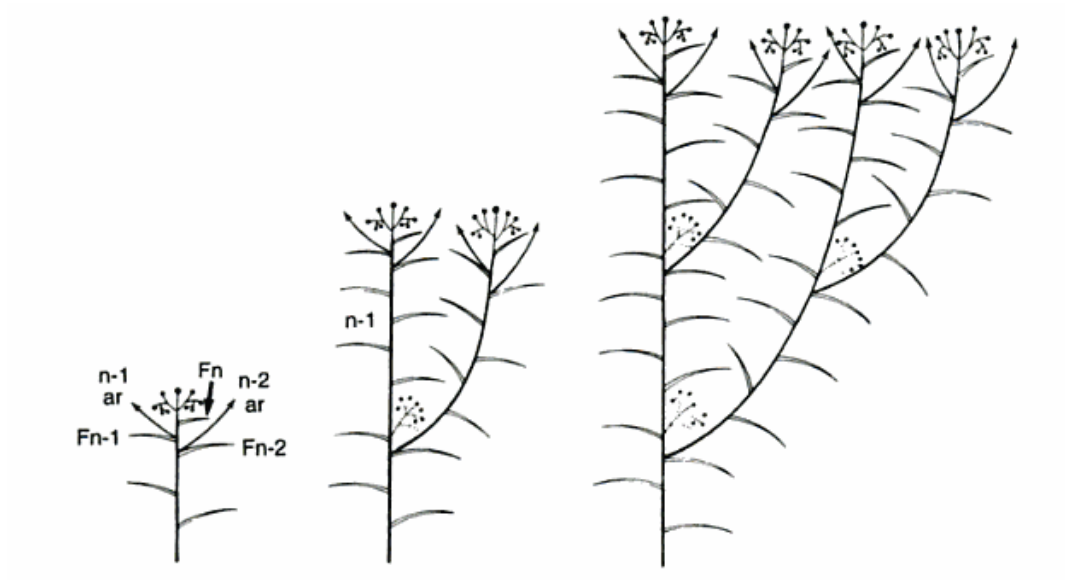



**Figure 22 : Etapes de l'enchaînement des axes (source : Rousselle 1996)**

Ces fleurs sont blanches ou plus foncées, vers les teintes bleutées ou violacées. Elles sont pentamères et actinomorphes, typiques de la famille des Solanacées :

- les 5 sépales sont soudés à leur base, et plus longs que les pétales
- les 5 pétales forment une corolle gamopétale également de couleur variée, mais souvent blancs à leur pointe
- l'androcée se compose de 5 étamines libres, accolées entre elles, et forment un anneau autour du style
- le gynécée consiste en 2 carpelles soudés en un ovaire supère à 2 loges. Ils sont orientés obliquement par rapport au plan médian de la fleur (Jones 1939).

Les fleurs sont autogames : la fécondation des organes femelles se fait par les organes mâles de la même plante. La fécondation croisée est très rare car les plantes n'ont pas de nectar, et n'attirent donc pas les insectes pollinisateurs.

C'est pour cette raison que les fruits sont assez exceptionnels. Ce sont des petites baies sphériques à ovoïdes non comestibles, de 1 à 3 cm de diamètre. Elles sont jaunes à verdâtres, voire brunes. Les graines sont réparties dans 2 loges dans le sens radial, et sont contenues dans une masse compacte mucilagineuse (Polèse 2006).

## 2.2. Appareil souterrain

La tige souterraine, appelée stolon, prend naissance à partir des bourgeons axillaires aux nœuds des tiges situés dans le sol. Elle croit horizontalement, couverte d'écailles, sous la surface du sol, puis s'épaissit progressivement pour former une ébauche de tubercule.

Les tubercules se forment dans la région subapicale des stolons.

De nombreuses racines complètent l'appareil souterrain, elles naissent aux nœuds des stolons ou au niveau des yeux des tubercules.

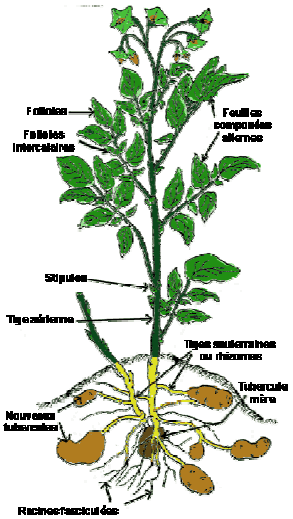



**Figure 23 : Vue d'ensemble de la pomme de terre (source : http://www.hortiantoing.net/avrilpdt.html)**

### *2.2.1. Le germe*

Cet appareil végétatif se forme à partir d'un œil du tubercule. Par sa croissance, ce dernier donnera naissance à une tige, des feuilles et des racines.

On peut diviser le germe en trois parties : la partie apicale qui donnera les feuilles et les fleurs, la partie médiane qui formera la tige et la partie radicale d'où déboucheront les racines (Grison 1983).

Les conditions de conservations du tubercule ou les conditions climatiques vont influencer fortement la croissance et la couleur du germe. En effet, certaines situations seront propices au développement de parties et inversement. Par exemple, dans une atmosphère humide et lumineuse, le germe développera principalement son système racinaire. Alors qu'à l'obscurité, c'est la croissance de la tige qui est favorisée.

De même, placé dans le noir, le germe restera blanc alors qu'à la lumière, il conserve sa coloration légèrement violacée.

Il existe plusieurs formes de germe. On distingue principalement les germes coniques et cylindriques mais il y a également des formes sphériques ou grêles, il y a même des germes qui produisent des stolons.

La pilosité sera aussi un critère de distinction entre les germes. Ce dernier sera d'autant plus marqué en début de germination. Par la suite, la pilosité des germes va s'atténuer, les poils se collant à la tige.

### *2.2.2. Le stolon*

Cet organe possède les mêmes caractéristiques techniques que la tige (bourgeons apical et latéraux).

Pendant la tubérisation, la croissance des feuilles est bloquée et ces dernières ne seront présentes sur les tubercules que par la présence d'arcades au niveau des yeux.

Durant les premières étapes de la croissance du stolon, les vaisseaux sont déjà différenciables à très petite échelle (200 à 300 microns).

On peut apercevoir :

- le protoderme qui deviendra plus tard l'épiderme

- le procambium (1er tissu)

- le méristème de croissance (Parenchyme cortical et moelle)

Le phénomène de tubérisation est la résultante d'une différenciation cellulaire de la zone à l'extrémité du stolon appelée périmédulaire en parenchyme de réserve.

Les premières étapes de la tubérisation s'apparentent simplement à de la division cellulaire.

Entre l'initiation et la maturité du tubercule, la tailles des cellules va augmenter de 10 à 30 fois. L'épaississement de l'extrémité du stolon engendre le remplacement de l'épiderme par le phelloderme (Rousselle 1996).

La fin de la tubérisation est marquée principalement par la croissance de la taille des cellules et non la division. Cette dernière est alors stoppée mais pas définitivement arrêtée. En effet, les cellules conservent leur capacité à se diviser. C'est ce qui permet au tubercule de cicatriser en cas de lésions.

### *2.2.3. Le tubercule*

C'est l'organe principal de reproduction de la plante, riche en eau et en éléments nutritifs.

Correspondant à une hypertrophie du stolon, il possède du point de vue morphologique et anatomique, les mêmes caractéristiques que la tige.

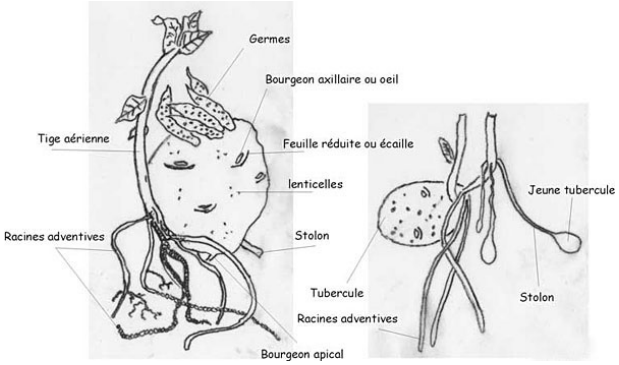



**Figure 24 : Description du tubercule** (source : http://www.microscopie.ch/articles/solanum_t/solanum.php)

Le tubercule se divise en deux pôles : la couronne (partie apicale) et le talon où se trouve l'attache du stolon.

Sur la peau, on peut distinguer les yeux (origine des bourgeons axillaires) disposés en spirale sur toute sa surface en suivant un gradient de concentration du talon à la couronne, région la plus densément peuplée.

Les lenticelles présentes également sur la peau du tubercule ont quant à elle une origine stomatiques et sont réparties aléatoirement.

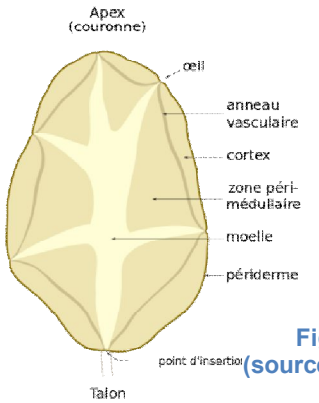



**Figure 25 : Le tubercule** (source : Wikipedia)

Caractéristiques techniques :

Le tubercule à maturité se décompose en plusieurs zones :

- Le périderme ou peau : bande plus ou moins ligneuse
- Le Cortex : zone de 3 à 12 mm d'épaisseur contenue entre le périderme et l'anneau vasculaire
- La Moelle : zone centrale du tubercule constituée par un tissu cellulaire translucide

- Le Parenchyme médullaire : d'aspect légèrement marbré, il occupe le reste de l'espace.

Il existe plusieurs critères qui permettent de caractériser les tubercules :

- Leur forme
- La couleur et texture de leur peau
- L'enfoncement des yeux
- La couleur de la chair

Leur forme :

De manière générale, la forme des tubercules est assez stable pour une même variété. La proportion de tubercules difformes est de l'ordre d'1/10 000. Cependant, certaines variétés comme la Bintje sont moins stables et le risque d'obtenir des tubercules difformes peut atteindre 1/1000, ce qui reste acceptable.

| CLAVIFORMES | OBLONGS | ARRONDIS | CYLINDRIQUES |
|---|---|---|---|
| Source : plantdepommedeterre.org | Source : plantdepommedeterre.org | Source : plantdepommedeterre.org | Source : commons.wikimedia.org |
| Forme prédominante des variétés à Chair Ferme telles qu'Amandine ou Belle de Fontenay | Ces derniers peuvent être plus ou moins allongés | Forme peu constante hormis pour les variétés de consommation plus régulières | Forme très peu répandue, typique de la Vitelotte |

Figure 26 : Différentes formes de tubercule

La couleur et texture de la peau :

C'est un des caractères le plus stable qui dépend principalement de la pigmentation des cellules du périderme.

Cette coloration est, dans la plupart des cas, jaune unie mais il arrive qu'elle varie entre le rose et le rouge.

Certains cas particuliers vont avoir l'épiderme de couleur jaune et le tour des yeux d'une couleur plus rosée.

La texture quant à elle peut être influencée par le parasitisme tel que la gale par exemple. Cependant, il existe des variétés à chair lisse ou rugueuse, ce qui les prédestine ensuite à une utilisation plutôt qu'une autre. En effet, les variétés à chair lisse seront plus facilement dirigées vers le marché des pommes de terres lavables alors que les rugueuses plutôt pour le marché de la consommation ou de la transformation.

Enfoncement des yeux

Peu dépendant des conditions extérieures, il existe deux cas de figures, les variétés marquées par un enfoncement prononcé (féculières essentiellement) et les autres avec des yeux superficiels.

Couleur de la chair

Coloration oscillant du blanc au jaune, la couleur blanche étant propre des variétés féculières. On décompose la couleur jaune en trois classes : Jaune pâle, Jaune moyen, Jaune foncé. Certaines variétés à couleur de peau rouge vont, suivant les conditions climatiques, voir apparaître des nuances au niveau de l'anneau vasculaire ou du parenchyme médullaire. La Vitelotte quant à elle reste quoi qu'il arrive uniforme au niveau de sa chair.

Une fois formé, le tubercule va passer par plusieurs phases :

- Une phase de repos végétatif au cours de laquelle il sera incapable de germer même en conditions favorables (humidité et températures élevées). Cet état est directement lié à des facteurs biochimiques (inhibiteurs,…)

La durée du repos végétatif est fortement liée aux caractéristiques de la variété.

La taille du tubercule par exemple, ou plutôt son calibre, peut jouer un rôle. En effet, il a été montré que les germes des petits tubercules mettent plus de temps que ceux des gros tubercules à atteindre une certaine longueur (3 mm). La taille des tubercules n'est en aucun cas liée à l'âge de ces derniers puisqu'ils sont initiés tous en même temps.

Le génotype de la variété reste le facteur le plus important dans la durée du repos végétatif. Il peut varier de 17 semaines pour les variétés les plus précoces à 40 semaines pour les plus tardives.

- Une phase de dormance pendant laquelle il est possible d'empêcher la germination du tubercule lorsqu'il est placé en conditions défavorables. Cet état quant à lui est en lien avec différents facteurs externes, par exemple le froid.

### 2.3. La germination

Une fois la phase de dormance levée et le tubercule placé en conditions favorables (températures plus élevées), il va émettre des germes qui donneront naissance aux racines, tubercules et au système aérien de la pomme de terre. Il entre alors dans la phase dite d'incubation, précédant l'émission des tubercules fils.

La vitesse d'incubation va dépendre de la variété et de la température de l'environnement.

Lorsqu'il y a un stress lors de cette étape, on peut observer des phénomènes anormaux tels que le boulage qui apparaît lors d'une conservation à température trop haute (conditions inductives) et qu'il y a ensuite une transition de température trop brutale dans un milieu froid propice à la tubérisation. La pomme de terre entre en tubérisation sans développement de système aérien.

### 2.4. La tubérisation

Cette étape de multiplication se décompose en trois phases successives : l'induction, l'initiation et la croissance radiale.

### L'induction

C'est durant cette phase que les stolons préalablement émis et croissants acquièrent la capacité à tubériser. Visuellement, aucune distinction n'est encore possible à ce niveau de croissance.

### L'initiation

A ce stade, les stolons vont stopper leur élongation pour entamer une croissance radiale. C'est au cours de cette deuxième étape qu'apparaissent les premiers renflements aux extrémités des stolons qui donneront par la suite naissance aux tubercules fils.

### La croissance radiale

Dernière phase de la tubérisation, elle intervient rapidement après la phase d'initiation et correspond à la croissance des tubercules fils. Leur vitesse de développement est en lien direct avec leur positionnement tout d'abord sur la tige et sur le stolon. En effet, plus le tubercule est proche du tubercule mère plus rapide sera sa croissance et son développement. Cette phase prendra fin lorsque la plante entamera sa phase de sénescence.

Les études qui ont pu être menées sur le phénomène de tubérisation ont mis en évidence plusieurs facteurs climatiques (température et durée d'éclaircissement) et variétaux.

En effet, la durée du jour va influencer fortement la tubérisation du tubercule. Plus la durée du jour sera courte, plus la tubérisation sera favorisée et inversement. La « longueur critique de jour » est une notion qui permet de distinguer les variétés tardives des variétés précoces. Elle varie de 13 à 16 heures et peut atteindre exceptionnellement 18 heures.

En dessous de cette longueur critique, la tubérisation sera favorisée au détriment du développement végétatif (développement des stolons, feuillage et floraison) et inversement.

Les variétés dites tardives (cycle de végétation long) seront caractérisées par une longueur critique de jour plus faible que les variétés précoces (hâtives).

La température

La température optimale de la tubérisation se situe aux alentours de 17°C. Les amplitudes ou excès de températures vont altérer cette tubérisation, voire la stopper (>29°C).

Ces stress peuvent engendrer des altérations au niveau de la tubérisation comme par exemple le phénomène de repousse qui va générer le développement de nouveaux tubercules.

# II. Les antigerminatifs

## 1. Procédés antigerminatifs classiques

### 1.1. Procédés thermiques

Même si la germination est un phénomène physiologique normal, de nombreux moyens sont utilisés pour décaler ce processus dans le temps. Les utilisateurs de pommes de terre sont nombreux, on peut citer les producteurs de plants, les distributeurs et les consommateurs, ou les utilisateurs de dérivés comme l'amidon. Les industries qui utilisent les tubercules pour la transformation ou la vente doivent être approvisionnées toute l'année avec la même qualité de pommes de terre, les durées de stockage peuvent donc aller jusque 250 à 300 jours. Nous avons vu dans la partie précédente les périodes de culture de la pomme de terre qui nécessitent des conditions tempérées : des techniques de conservation sont donc nécessaires pour assurer un flux permanent pendant les périodes de non-production (Gomez-Castillo 2013).

Pour la consommation et la conservation des pommes de terre, un phénomène doit être évité : la germination. Elle diminue la qualité et le poids du tubercule, et empêche la circulation d'air dans la pomme de terre jusqu'à la faire pourrir, la rendant ainsi non-consommable (Kleinkopf 2003). La principale préoccupation dans le stockage de pommes

de terre est donc de supprimer la germination. Au moment de la récolte, le stockage commence par une ventilation chaude d'environ 15 jours qui assure le séchage et la cicatrisation des blessures : une peau bien sèche et nette est une barrière naturelle aux parasites. La récolte ayant lieu du mois d'août à la fin de l'automne selon les variétés de pommes de terre, les problèmes de conservation concernent essentiellement le stockage à partir de novembre-décembre. Au-delà de la période de séchage commence la conservation à température basse.

Les températures et une humidité constante sont les deux facteurs environnementaux cruciaux à contrôler : une ventilation froide permet d'éviter la germination, mais aussi le gel, la condensation d'eau et l'accumulation de $CO_2$. La température idéale de conservation est de 7°C pour les pommes de terre consommées en l'état ou en flocons de purée et de 5-6°C pour les pommes vapeurs ou les pommes de terre à chair ferme. (Rousselle 1996). Dès que la température est supérieure à 6°C pendant deux mois ou plus, des agents inhibiteurs de germination sont nécessaires en supplément. La méthode la plus utilisée pour prévenir ce problème et allonger la période de stockage est l'application du CIPC ou chlorprophame en post-récolte (Huang 2014). De nombreuses études sont actuellement en cours, car le développement de la pomme de terre comme produit alimentaire devrait être en considérable augmentation jusqu'au moins 2020 avec une population mondiale qui croît de 1 à 1,5% par an (Scott 2000).

## 1.2. Procédés chimiques et naturels

Nous allons étudier dans cette partie les diverses molécules utilisées avant l'apparition des huiles essentielles dans le domaine du contrôle de la germination. Les anciennes molécules (chlorprophame et hydrazide maléique) sont plus ou moins toxiques et difficiles à utiliser, c'est pour cette raison que l'on tend maintenant à développer des solutions plus naturelles avec l'éthylène et aujourd'hui la menthe verte.

### *1.2.1. Le Chlorprophame*

#### 1.2.1.1. Caractéristiques

### Identification

Le chlorprophame (CIPC), qui a pour nom chimique isopropyl 3-chlorophenylcarbamate est un produit ancien, autorisé depuis les années 1960. Il a comme formule brute $C_{10}H_{12}ClNO_2$. C'est un composé qui appartient à la famille des carbamates. Il a longtemps été le seul produit utilisable sur la pomme de terre : c'est un antigerminatif utilisable après la récolte, qui agit en préventif.

### Molécule

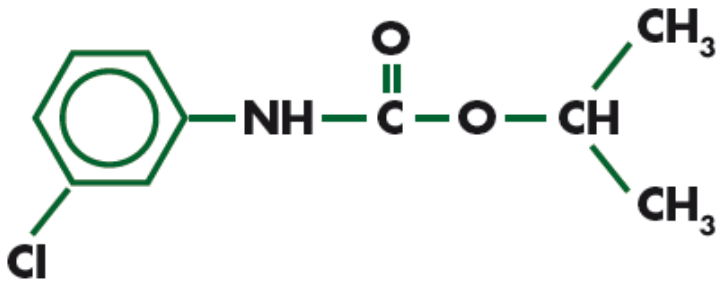



**Figure 27 : Chlorprophame (source : http://www.certiseurope.fr/fileadmin/downloads_fr/produits/regulateurs/FD_GroStop_Ready_Fev_2011.pdf)**

### Propriétés physiques

| | |
|---|---|
| T° de fusion | 41°C |
| T° d'ébullition | 247°C |
| pH | 7,1 à 20°C |
| Densité | 1,02 à 20°C |

La solubilité dans l'eau est faible (89 $mg.L^{-1}$ à 25°C) (Worthing 1991)

### Précautions

Phrases de risque :

R40 : Effet cancérogène suspecté : preuves insuffisantes

R48/22 : Nocif : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par ingestion.

Phrase de conseil de prudence :

S 35 : Eviter le contact avec les yeux

#### 1.2.1.2. Mode d'action

Le CIPC inhibe le développement du tubercule en altérant la structure et la fonction du microtubule, ce qui crée une interférence dans la division cellulaire (Campbell 2010) : c'est un composé synthétique qui modifie la formation du fuseau, inhibe la mitose et empêche la croissance (Vaughn 1991).

Au niveau microscopique, ce composé produit des mitoses multipolaires. A savoir, le mouvement du chromosome pendant l'anaphase est dirigé vers 3 foyers ou plus alors que dans une anaphase normale le mouvement du chromosome va vers 2 foyers uniquement, que l'on appelle les centrosomes (Hepler 1989). De même, l'arrangement des microtubules après traitement au CIPC révèle des configurations de minifuseaux. Après cette division multipolaire, les membranes nucléaires se reforment autour du noyau et des amas de phragmoplastes très ramifiés et de formes irrégulières sont formés.

Le phragmoplaste est une zone dense formée de microtubules, issue du fuseau postanaphasique. Des vésicules golgiennes s'y regroupent, chargées des éléments constitutifs de la substance fondamentale de la paroi cellulaire. Elles se rassemblent en une plaque cellulaire qui atteint les parois latérales et divise la cellule (Nultsch 1998).

L'anomalie du phragmoplaste empêche les membranes de fusionner correctement et de former sur les 2 côtés de la paroi cellulaire les couches limitantes du cytoplasme des cellules-filles.

#### 1.2.1.3. Itinéraire technique

L'utilisation du CIPC a été restreinte dans le cadre de la directive 91/414/CEE modifiée par la directive 2004/30/CE récemment mise en application en France.

La dose d'emploi maximale est de :

- 36 grammes de CIPC / tonne de pommes de terre / an
- Avec un plafond de 12 grammes de CIPC/ tonne de pomme de terre pour la première application
- Un plafond de 8 grammes de CIPC / tonne de pommes de terre pour les 3 applications suivantes

Il s'applique de plus en plus par thermonébulisation, même si on utilisait davantage le poudrage auparavant voir même la pulvérisation bas volume.

#### 1.2.1.4. Spécialités

Les spécialités ayant le chlorprophame comme molécule active sont nombreuses, elles n'ont pas toutes la même concentration et les mêmes recommandations concernant leur produit. On trouve l'Antigerme Brabant® (1%, 300NH, Basic, Super), le CoprophamAntigerme®, le Fogstral S®, le Gro Stop® (Basis, Fog, Innovator, Max, Ready), le Top-Pro 1%®, le Xedamate 60® …

### *1.2.2. L'hydrazide maléique*

#### 1.2.2.1. Caractéristiques

Identification

L'hydrazide maléique (1,2-dihydro-3,6-pyridazinedione) est le seul antigerminatif à être appliqué directement dans les champs sur la végétation. Sa formule brute est $C_4H_4N_2O_2$ et il appartient à la famille chimique des pyridazinones.

Molécule

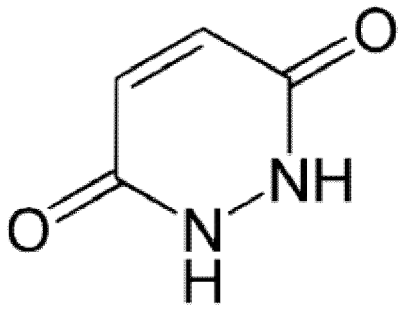



Figure 28 : Hydrazide maléique (Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrazide_mal%C3%A9ique)

Propriétés physiques

| | |
|---|---|
| T° de fusion | 299-301°C |
| Solubilité | 4,507 g/l à pH 4,3 et à 25°C |

Précautions

Phrase de risque :

R 36/37/38 : Irritant pour les yeux, les voies respiratoires et la peau.

Phrase de conseil de prudence :

S 26 : En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement puis consulter un ophtalmologiste

S 36 : Porter un vêtement de protection approprié

#### 1.2.2.2. Mode d'action

L'efficacité de l'hydrazide maléique était déjà reconnue à la fin des années 1950 en Californie. Sa pulvérisation par avion sur des plants cultivés à l'automne réduit la germination pour le stockage sur place et les stockages ultérieurs : la perte de poids était significativement diminuée, alors que le rendement n'était pas affecté avec 3,4 kilogrammes d'hydrazide maléique par hectare (Bishop 1961).

Le mode d'action de l'hydrazide maléique est encore controversé, même si les diverses études menées sur les dernières décennies font ressortir une hypothèse comme étant la plus probable ; l'action sur la division cellulaire des tubercules fils. L'hydrazide maléique est l'exemple le plus connu dans ces inhibiteurs à avoir une action au niveau du méristème apical : il doit être appliqué au stade où l'on a plus de 80% de tubercules qui ont un calibre supérieur à 45mm.

L'effet principal apparent est l'inhibition de la synthèse d'ADN et peut être, indirectement, de la synthèse d'ARN. La particularité de cet anti-germinatif est qu'il agirait sur l'hétérochromatine, alors que les herbicides classiques agissent sur l'euchromatine : il forme des micronoyaux et des aberrations chromosomiques (Ticha 1997).

Il est toujours utilisé en agriculture malgré des effets mutagènes et clastogènes potentiels (Marcano 2004).

#### 1.2.2.3. Itinéraire technique

La dose recommandée est à suivre strictement pour les utilisateurs. C'est un inhibiteur à appliquer en cours de végétation (avant la récolte) par pulvérisation classique, contrairement au CIPC qui s'utilise après la récolte des pommes de terre. Il peut être utilisé seul ou pour éviter la première utilisation de CIPC. Pour une efficacité maximale, l'application doit être réalisée avec un volume suffisant d'eau (300-400l/ha) et avec un délai de 12h sans pluie. L'hydrazide va ensuite migrer et s'accumuler dans les tubercules fils où la rémanence est d'environ 3 mois.

Il est à noter que l'hydrazide maléique peut être utilisé seul ou en programme. Son utilisation seul emploie une dose de 3kg/ha de produit dosé à 60%, soit 1,8kg/ha de matière active. Lorsqu'il est associé à d'autres antigerminatifs post-récolte (CIPC, huile de menthe ou éthylène), la dose est diminuée de 20%.

#### 1.2.2.4. Spécialités

Les spécialités ne peuvent contenir que de l'hydrazide maléique seul. Il en existe où l'hydrazide est associé aux sels d'amines, mais celles-ci ne sont pas autorisées en France.

On trouve donc en France pour l'usage agricole de la pomme de terre : Catapult®, Fazor® et Fazor Star®, Filini 60 SG®, Himalaya 60 SG®, Itcan® et Itcan SL 270®, Turboclean J®.

### *1.2.3. L'éthylène*

#### 1.2.3.1. Caractéristiques

Identification

L'éthylène, ou ethène pour le nom chimique, ne détruit pas les germes comme les autres antigerminatifs, mais freine leur apparition puis leur vitesse d'élongation. Sa formule brute est $C_2H_4$ et il appartient à la famille chimique des hydrocarbures insaturés.

Molécule

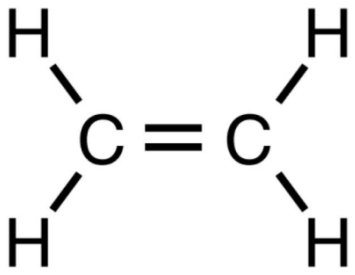



**Figure 29 : Ethylène (Source :Source : http://chemistry.about.com/od/factsstructures/ig/Chemical-Structures---E/Ethanedioic-Acid.htm#step-heading)**

Propriétés physiques

| | |
|---|---|
| T° de fusion | -169,2°C |
| T° d'ébullition | -103,9°C |
| Solubilité | dans l'eau: nulle |
| Densité | 1,18 |

### Précautions

Phrases de risque :

R 12 : Extrêmement inflammable

R 67 : L'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolence et vertiges

Phrases de conseil de prudence :

S2 : Conserver hors de la portée des enfants

S9 : Conserver le récipient dans un endroit bien ventilé

S16 : Conserver à l'écart de toute flamme ou source d'étincelles. Ne pas fumer

S33 : Eviter l'accumulation de charges électrostatiques

S46 : En cas d'ingestion consulter immédiatement un médecin et lui montrer l'emballage ou l'étiquette

#### 1.2.3.2. Mode d'action

L'éthylène est connu pour son rôle dans la régulation de nombreux aspects du développement de la plante, de la germination de la graine à l'apoptose (Reid 1995).

Il agit en ralentissant la croissance des germes et non en bloquant la germination. L'initiation de la germination est accompagnée par de multiples changements biochimiques qui ont des conséquences sur les concentrations hormonales, les taux de respiration et le début de la synthèse des acides nucléiques (Rylski 1974). De nombreuses études montrent que les phytohormones agissent sur la germination une fois ces processus physiologiques terminés (Sonnewald 2014).

L'éthylène à l'état gazeux agit en tant que phytohormone ; on peut l'assimiler aux auxines : comme l'ABA, il active l'abscission et comme l'AIA, il régule la dominance apicale (Suttle 1998). Le mécanisme d'action au niveau moléculaire n'est pas encore élucidé. Selon une hypothèse, il devrait inhiber la cytochrome-c-oxydase en fixant le cuivre. L'inhibition de cette enzyme se répercuterait alors sur l'expression des gènes. L'éthylène constitue un signal pour les plantes afin qu'elles activent leur mécanisme de défense par la production de nouvelles enzymes. On peut également en conclure que l'éthylène régule l'expression des gènes (Nultsch 1998).

#### 1.2.3.3. Itinéraire technique

Le seul produit utilisé sur la pomme de terre est le BiofreshSafestore®, dosé en éthylène 100%. La dose d'application homologuée est de 0,010 $L.m^{-3}$. Il est possible, vu le mécanisme d'action, que des germes apparaissent. Si tel est le cas, ils restent petits, trapus et faiblement adhérents aux tubercules. Comme pour toutes les molécules, si la pression antigerminative est faible (température basse, variété ayant un repos végétatif long), l'efficacité antigerminative est augmentée.

L'éthylène s'emploie :

- soit par simple libération d'éthylène pur contenu dans des bouteilles
- soit par la production d'éthylène par catalyse d'éthanol liquide (+/- 330°C)

Cette dernière technique demande encore plus de précautions au regard des risques d'explosions lors de la manipulation du produit. De plus la catalyse génère du $CO_2$ dans l'atmosphère ce qui nécessite de renouveler l'air du bâtiment régulièrement.

La concentration est croissante pour atteindre 10ppm jusqu'à la fin de stockage

#### 1.2.3.4. Spécialités

Biofresh Safestore®

### *1.2.4. L'huile essentielle de menthe verte : un nouvel antigerminatif*

L'utilisation d'huile essentielle pour la conservation, et plus particulièrement des pommes de terre, ne date pas d'aujourd'hui. En effet, il y a plusieurs siècles déjà, les Incas du Sud de l'Amérique, employaient cette technique. Ils enterraient leurs pommes de terre avec des feuilles de Mintho stachys glabrescens (qui fait partie de la famille de la menthe (Aliaga and Faldheim 1984)). De cette plante qui pousse naturellement dans les Andes, est extraite une huile essentielle avec une action antigerminative très forte. Son efficacité dépasse même celle du CIPC sur une durée de 225 jours. L'analyse de cette huile a montré une concentration de plus de 98% en monoterpènes parmi lesquels : limonène, pulégone, menthone, isomenthone…

#### 1.2.4.1. Caractéristiques

En plus de leur aspect antigerminatif, les huiles essentielles en général ont également des vertus fongicides et bactéricides voire même insecticides. Par exemple, les huiles essentielles de lavande, menthe, menthe poivrée, romarin ou encore de sauge, ont une action inhibitrice sur le développement de la bactérie Erwinia carotovora ssp. atroseptica responsable de la maladie de la Jambe Noire (Vokou et al. 1993).

Durant la période de stockage, les tubercules peuvent être soumis à différentes agressions de parasites divers. C'est pourquoi, en plus de du traitement qu'ils reçoivent afin de limiter leur germination, un traitement fongicide est généralement appliqué avant la mise en frigo.

#### 1.2.4.2. Vers la recherche d'une alternative

Comme nous l'avons vu précédemment, la conservation passe par des basses températures (autour de 4°C). Par ailleurs, il a été constaté que cette méthode augmente le taux de sucre des tubercules ; ce qui peut engendrer des soucis selon les finalités de la production, comme par exemple pour la commercialisation (Coffin 1987). C'est l'hydrolyse partielle de l'amidon contenu dans les pommes de terre qui augmente ce taux avec pour effet d'augmenter la coloration des produis frits et de donner une saveur douceâtre aux pommes de terre. Comme on peut le constater sur le schéma ci-dessous, différents facteurs peuvent conditionner le taux de sucre des pommes de terre durant le stockage. Tout

d'abord, le fait que le tubercule soit mature à la récolte élimine un facteur de risque, lié au faible taux de saccharose contenu dans celui-ci. D'autre part, la présence de $CO_2$ en excès durant le stockage en bâtiment peut augmenter le sucrage : il faut donc avoir une bonne maîtrise de la ventilation des frigos.

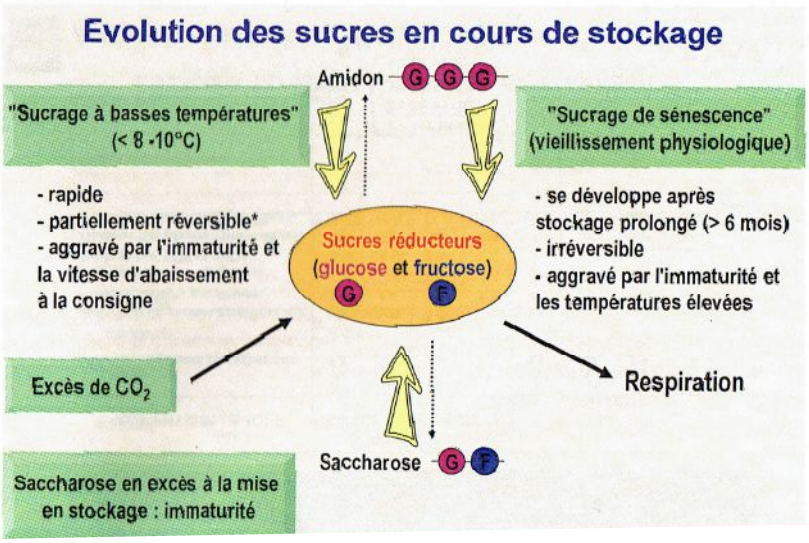



Figure 30 Sucrage des pommes de terre en stockage (Source: Martin 2001)

Le sucrage dit de « sénescence », est quant à lui difficilement contrôlable. En effet, au terme d'une certaine durée de stockage (> 6 mois), le taux de sucre augmente naturellement et de manière irréversible.

Le dernier facteur en cause (la température de stockage) est directement en lien avec notre problématique.

Le graphique suivant nous montre l'impact de la température et de la durée de stockage sur le taux de sucre des tubercules. L'abaissement de la température en dessous de 8°C engendre systématiquement une augmentation du taux en sucre. C'est pourquoi le stockage en frigo doit être couplé à un inhibiteur de germination.

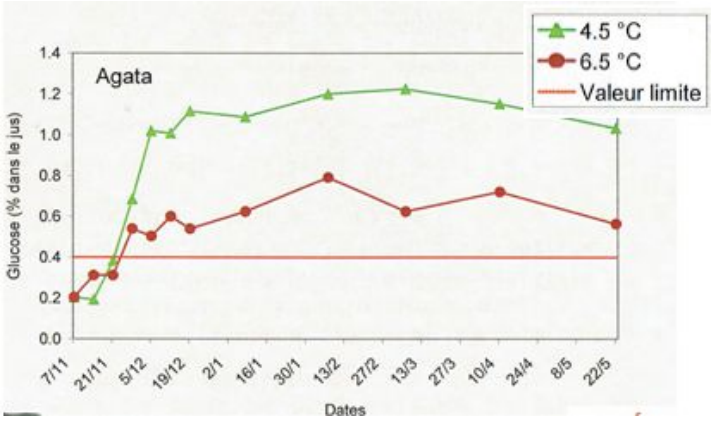



Figure 31 Cinétique d'accumulation du glucose en conservation (Martin 2001)

Depuis quelques années, les regards se concentrent sur les résidus retrouvés dans les tubercules et leur concentration (en particulier pour le CIPC). Le CIPC est celui que l'on retrouve le plus et en plus forte concentration parmi les trois plus grandes molécules dans les tubercules (Gartrell et al. 1986). De plus, d'après une étude menée dans les années 80, les traces de CIPC représentent plus de 90% des molécules chimiques retrouvées dans les pommes de terre aux US (Gunderson 1988). C'est pourquoi, l'utilisation de ce dernier a connu d'importantes restrictions. Les risques pour l'homme sont multiples, ils concernent par exemple : le foie, les reins, la rate, les globules rouges (Nakagawa et al. 2004)

Les recherches d'alternatives au CIPC ont progressé depuis les restrictions au niveau de son utilisation et aussi pour contrer les problèmes de persistance du produit qui condamnent les bâtiments à toute autre utilisation (Conte 1995). On avait constaté une efficacité de l'huile essentielle de menthe verte depuis longtemps ; même si les premières études ont démontré une activité antigerminative, elles restent assez vagues quant à son mode d'action.

#### 1.2.4.3. Mode d'action de l'huile essentielle

Le mode d'action possible du R(-)Carvone au niveau moléculaire a d'abord été élucidé sur des études animales menées sur des rats. Ces études ont mis en évidence l'effet réducteur du cycle des monoterpènes sur l'activité des enzymes HMG-CoA réductases. Ces dernières jouent, chez les plantes, un rôle important au niveau de la production de nombreux métabolismes secondaires y compris les hormones végétales telles que l'ABA, GA, cytokinines et des composants des membranes cellulaires (Bach 1987, Bach et al. 1991, Weissenborn et al. 1995, Bach et al. 1999).

En ce qui concerne la pomme de terre, le R(-)Carvone apparait comme un intermédiaire principal dans la dégradation de la HMG-CoA réductase.

L'huile de menthe possède un avantage considérable en comparaison avec les autres inhibiteurs, principalement le CIPC sur la réversibilité de son action. En effet, si l'on s'intéresse plus précisément au mode d'action de l'huile de menthe, on observe tout d'abord des dégâts au niveau des tissus vasculaires qui engendrent ensuite la nécrose totale du méristème.

De manière générale, après l'application d'un inhibiteur de germination et en cas de nécrose légère, le méristème redevient viable après quelques temps de stockage. Dans le cas de l'huile de menthe il en est tout autre. Au bout de deux jours après l'application d'huile de menthe, les premiers symptômes apparaissent sur le sommet du méristème et les tissus vasculaires (voir Figure 32).

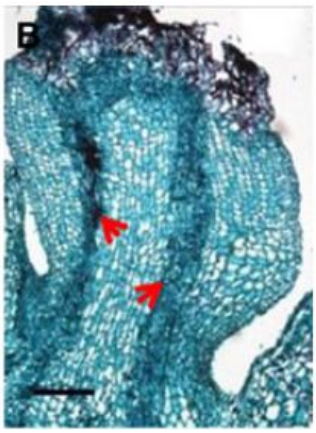



Figure 32 Effet de la menthe sur le méristème et les tissus vasculaires après 2 jours de traitement (Teper-Bamnolker 2010)

Au terme d'une semaine, la nécrose du bourgeon est complète.

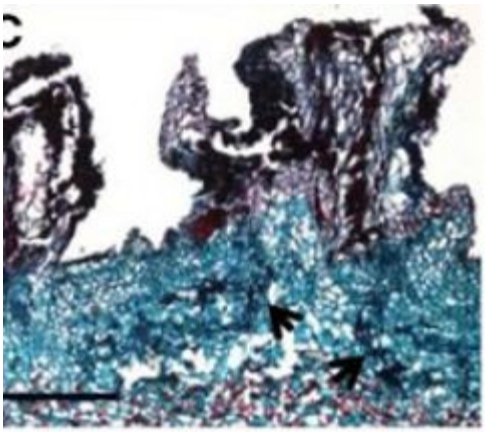



Figure 33 Méristème des bourgeons après 7 jours de traitement

La rémanence du produit est d'environ un mois puisqu'on observe après cette période une diminution des effets et l'apparition de bourgeons axillaires. C'est pourquoi les applications doivent être répétées lors de stockages prolongés pour garantir une bonne efficacité (Teper-Bamnolker 2010).

Cependant, il a été constaté qu'un simple lavage à l'eau du robinet des tubercules quelques jours après le traitement réduit complètement l'effet de l'huile de menthe. Les bourgeons axillaires apparaissent d'ailleurs quelques jours plus tard (Figure 34).

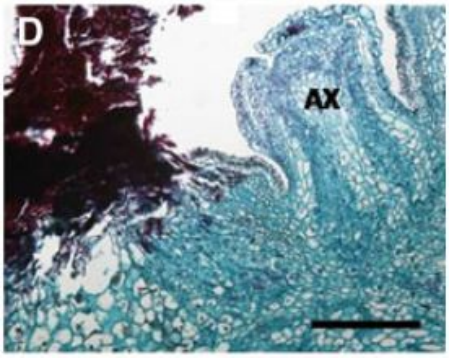



Figure 34 Apparition d'un bourgeon axillaire après lavage à l'eau

Ce phénomène a été vérifié sur l'ensemble des variétés, d'autant plus sur les variétés à faible dominance apicale comme Nicola qui voit son nombre d'yeux latéraux considérablement augmenter (Figure 35).

Figure 35 Cas particulier des variétés à faible dominance apicale, comme la Nicola

Si cette caractéristique de réversibilité est un avantage indéniable sur ses adversaires du point de vue écotoxicité, elle peut devenir problématique dans certains débouchés. En effet si le nombre d'yeux devient trop important, il sera difficile d'obtenir de gros tubercules fils.

Ceci peut être pénalisant pour les plants destinés à la consommation (notamment pour le marché de la frite).

#### 1.2.4.4. Résultats techniques

Des travaux de recherche quant à la substitution du CIPC par d'autres moyens alternatifs et notamment l'huile de menthe verte ont été menés par le « Kimberly R&E Center Potato Research Facility » au début des années 2000.

Ces derniers avaient pour objectifs de tester différents moyens alternatifs au CIPC (principale molécule utilisée pour le stockage à long terme) en vue de satisfaire certains industriels essentiellement pour le marché de l'export. En effet, le CIPC n'était pas homologué dans tous les pays.

Dans une étude menée en 2001 et présentée lors d'une conférence en Idaho en 2002, ce centre de recherche a comparé différentes méthodes telles que l'huile de menthe verte, l'huile de menthe poivrée, l'eugénol (contenu dans l'huile de clous de girofle) et le CIPC.

Les résultats de cette étude ont permis de mettre en évidence plusieurs points. A savoir que pour garantir un bon contrôle de la germination, l'huile de menthe (verte ou poivrée) et les moyens alternatifs en général nécessitent d'être appliqués plusieurs fois et de manière régulière durant la durée de stockage et cela d'autant plus que le stockage est long (Kleinkopf 2002).

D'autre part, on remarque si l'on compare les graphiques ci-dessous que pour obtenir de bons résultats, il est primordial de conserver une certaine concentration en huile dans l'air ambiant du bâtiment de stockage. En effet, on peut constater que lorsque l'on ajoute une ventilation, la longueur des germes augmente significativement comparé à la méthode de la mèche (figure 36). Néanmoins il est nécessaire de veiller à ce que le produit soit répandu uniformément dans le volume à traiter.

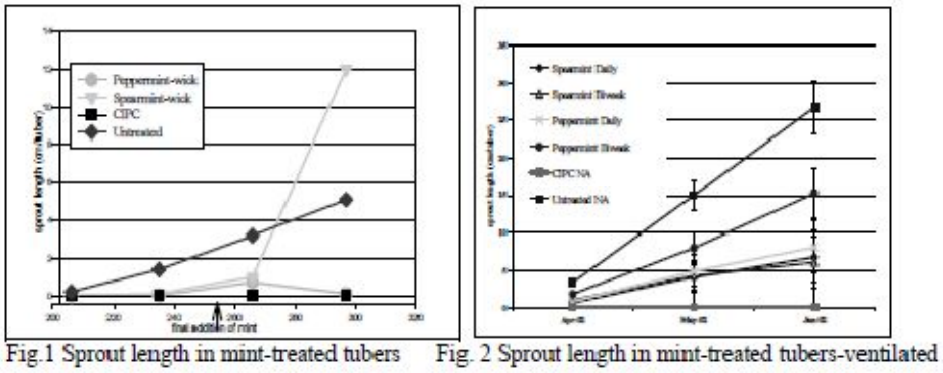



**Figure 36 : Action antigerminatives de différentes molécules en comparaison au CIPC**

Les essais récents ont cherché à améliorer le protocole d'emploi de cette huile essentielle afin d'obtenir les meilleurs résultats. Pour se faire, l'huile essentielle utilisée est celle commercialisée par le laboratoire Xeda International. Elle est appliquée par thermonébulisation comme le prévoit la firme.

Dans une étude menée entre 2006 et 2009 (Teper-Bamnolker 2010), le produit est utilisé après 2 semaines de mise en stockage des pommes de terre à raison d'une application de 30 ml par tonne et par mois pendant 140 jours, sur 8 variétés différentes de tubercules : Belini, Mondial, Désirée, Karlena, Eos, Nicola, Rodeo et Winston. Les résultats montrent que l'huile de menthe permet d'empêcher complètement la germination en causant des nécroses noires sur le méristème, sans altérer l'épiderme. La nécrose est rapide et totale dans les essais Arvalis menés entre 2008 et 2009 comparé au CIPC (Figure 37 et 38 ci-dessous d'Arvalis concernant 2 variétés de pommes de terre : Agata et Bintje).

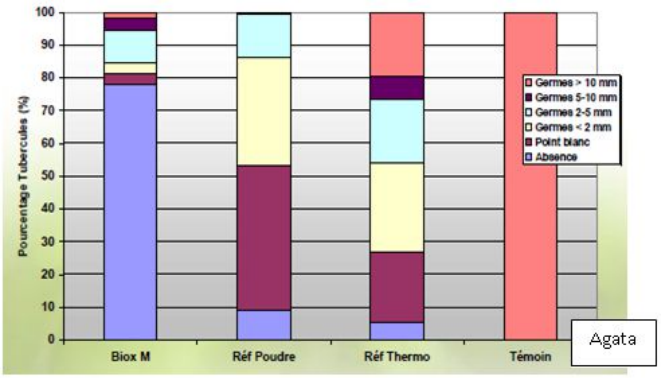



Figure 37 : Comparaison du Biox-M au CIPC sur Variété Agata

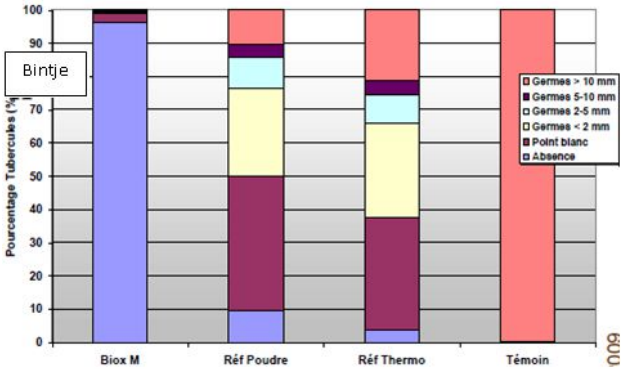



Figure 38 : Comparaison du Biox-M au CIPC sur variété Bintje

En effet, sur ces graphiques on peut apercevoir que les tubercules traités au BioxM (huile de menthe) ont toujours un pourcentage moins important de germes quelle que soit la variété par rapport au témoin non traité ainsi qu'à la référence (CIPC). Cela est confirmé par les graphiques suivants montrant le poids des germes (figure 37).

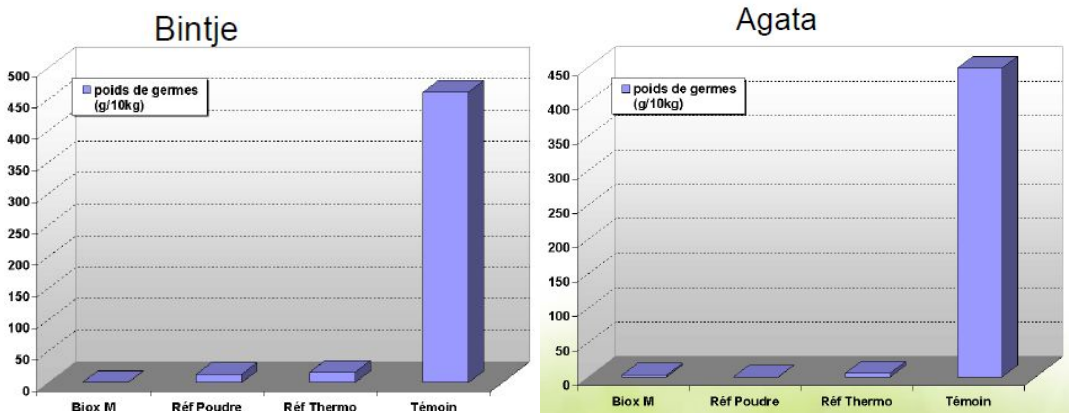



Figure 39 Efficacité des antigerminatifs sur la nécrose des germes selon leur poids (source Arvalis)

Ce mécanisme d'action permet de réduire la perte de poids due au blocage de la maturité, comme on peut le voir sur la figure 39. Toutes les variétés obtiennent le même résultat.

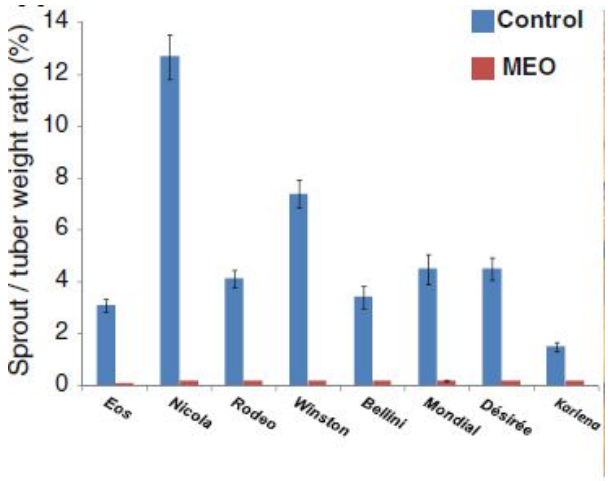



Figure 40 Effet de l'huile essentielle de menthe (MEO) sur le poids des tubercules après 6 mois de stockage (Teper-Bamnolker 2010)

D'autre part, l'huile de menthe permet de maintenir la bonne forme des tubercules (Eshel 2008), ce qui se traduit par de bonnes notes sur le ramollissement général. On peut voir sur la figure 41, qu'aucune des plantes traitées ne dépasse le niveau limite d'acceptabilité de 2 en commercialisation (représenté par le trait noir).

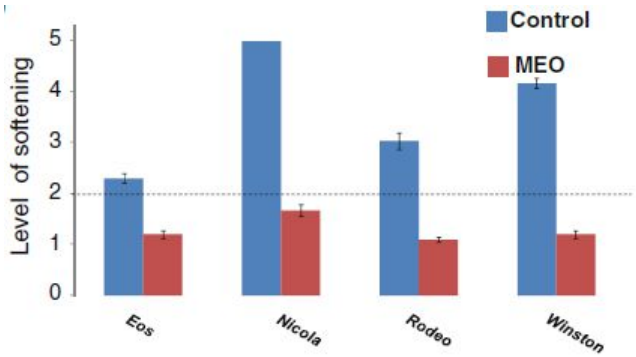



Figure 41 Taux de ramollissement des pommes de terre traitées par l'huile essentielle de menthe (Teper-Bamnolker 2010)

#### 1.2.4.5. Résulats technologiques

En ce qui concerne les paramètres culinaires, plusieurs analyses ont été effectuées au cours de la conservation pour observer la concentration des tubercules en sucrose, glucose mais aussi leur comportement vis-à-vis de la friture.

Les résultats sont présentés dans la figure 42 ci-dessous

Table 1. Glucose and sucrose concentration (% fresh weight) and photovolt reflectance of fry color (Photo volt) for tubers treated with spearmint and peppermint from three sampling dates.

| Treatment | Rate ppm/ month | Wick Applic | April 6 Gluc. % FW | April 6 Suc. % FW | April 6 Photo volt | May 4 Gluc. % FW | May 4 Suc. % FW | May 4 Photo volt | June 1 Gluc. % FW | June 1 Suc. % FW | June 1 Photo volt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spearmint | 100 ppm | Daily | 0.059 | 0.094 | 35.0 | 0.057 | 0.079 | 37.1 | 0.045 | 0.077 | 39.6 |
| Spearmint | 100 ppm | Biweek | 0.051 | 0.076 | 35.2 | 0.056 | 0.072 | 38.6 | 0.056 | 0.067 | 38.3 |
| Peppermint | 100 ppm | Daily | 0.058 | 0.071 | 34.1 | 0.046 | 0.071 | 38.5 | 0.054 | 0.053 | 36.5 |
| Peppermint | 100 ppm | Biweek | 0.052 | 0.083 | 38.0 | 0.047 | 0.071 | 41.8 | 0.047 | 0.062 | 41.9 |
| CIPC | 22 ppm | NA | 0.050 | 0.070 | 40.1 | 0.039 | 0.062 | 40.4 | 0.033 | 0.064 | 43.2 |
| Untreated | NA | NA | 0.061 | 0.073 | 37.4 | 0.046 | 0.057 | 43.2 | 0.044 | 0.057 | 40.5 |
| LSD | | | ns | 0.008 | 4.0 | 0.013 | 0.014 | 3.6 | 0.013 | ns | 3.2 |

Figure 42 : Résultats technologiques des huiles de menthes et du CIPC

Il peut être constaté qu'avec un traitement à l'huile de menthe (verte ou poivrée), les taux en sucres augmentent légèrement par rapport au traitement à partir de CIPC. Cela signifie que la maturation des tubercules n'est pas totalement stoppée dans le cas de l'huile de menthe.

En ce qui concerne le comportement à la friture, il y a peu de différence entre les deux méthodes.

Lorsque l'on observe les résultats du test de dégustation, on retrouve dans la notation la différence relevée précédemment concernant le taux en sucres des tubercules au travers de la note sur la saveur (flavour) : 6,4 pour le CIPC, 6,1 pour la menthe poivrée et 5,1 pour la menthe verte.

Dans cette étude, les doses employées sont de 100ppm par mois.

Table 4 Results of a taste test comparing potatoes that received 400 ppm mint oils to CIPC treated potatoes.

| | Flavor | Texture | Color | General |
|---|---|---|---|---|
| CIPC | 6.4 A | 6.6 | 6.8 | 6.4 A |
| Spearmint | 5.1 B | 6.2 | 6.7 | 5.3 B |
| Peppermint | 6.1 A | 6.3 | 6.7 | 6.2 A |
| LSD | 0.6 | Ns | Ns | 0.5 |

Figure 43 : Résultats statistiques

On remarque dans cette étude, que pour la texture et la couleur, les notes sont similaires entre les différents produits.

**Contrôle sur la qualité technologique et culinaire des tubercules après six mois de stockage à 7,5 °C.**

| | Tenue à la cuisson (Nicola) | | Noircissement après cuisson (Nicola) | | Coloration après friture (Bintje) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Témoin | Biox M | Témoin | Biox M | Témoin | Biox M |
| Moyenne | 0,01 | 0,01 | 2,35 | 2,58 | 1,89 | 1,89 |
| Ecart-type | 0,02 | 0,02 | 0,25 | 0,1 | 0,08 | 0,13 |
| | Écart non significatif au sens statistique | | | | | |

*Collaboration Arvalis/Xeda 2008-2009*

**Figure 44 : Résultats technologiques Arvalis**

Ce résultat a été vérifié dans les essais menés par Arvalis et Xeda en 2008 (figure 44 ci-dessus)

La conclusion de l'étude est donc que l'huile de menthe s'avère être une alternative efficace au CIPC. Cependant, il est important de répéter les applications pour garantir une bonne efficacité. Enfin, cette technique, bien qu'efficace, reste plus onéreuse que le CIPC et cela d'autant plus que le temps de conservation est long une fois la dormance levée.

#### 1.2.4.6. Itinéraire technique

Si l'huile essentielle est tout à fait en mesure d'intervenir de manière curative sur la germination de pomme de terre, ce qui n'est pas le cas de tous les autres produits, il est préconisé de l'employer de manière préventive. Pour garantir le meilleur résultat, il est indispensable de répéter plusieurs fois les applications tout au long du stockage et à différentes doses.

La première application se fait rapidement après la mise en stockage au maximum au stade point blanc à la dose de 90 ml par tonne de pommes de terre. Les applications suivantes sont à réaliser dès que la germination reprend (quelques semaines après la précédente) à la dose de 30 ml par tonnes, tout en respectant le nombre d'applications maximum autorisé de dix par an.

La dose employée ainsi que la cadence des différentes applications vont conditionner la bonne réussite du stockage. Enfin, pour garantir une bonne efficacité du produit, il est important de maintenir fermé le lieu de stockage pendant au moins 48h après l'application pour laisser correctement le produit se diffuser dans le bâtiment et sur les tubercules.

#### 1.2.4.7. Spécialités

Biox-M  XEDA INTERNATIONAL

Composition : huile de menthe 950 g/l

### 1.2.5. Comparatif des différentes méthodes

#### 1.2.5.1. Comparatif économique

Comme nous avons pu le constater précédemment, les différentes méthodes antigerminatives se diffèrent par leur mode d'application ainsi que par le nombre d'applications nécessaires. Ces deux paramètres vont influer le coût total du produit qui en plus de ses résultats techniques  va déterminer ou conditionner l'utilisation et la commercialisation auprès des agriculteurs.

Le tableau ci-contre détaille pour chaque produit, les coûts liés aux produits eux-mêmes ainsi que le matériel nécessaire à leur emploi.

| | Produit | Matériel | Total |
|---|---|---|---|
| Hydrazide maléique (Dose pleine) | 2 | 0.25 | 2.25 |
| Poudrage CIPC (15 g) | 1.7 | 0.10 | 1.80 |
| UBV CIPC (15 g) | 1.8 | 0.15 à 0.20 | 1.95 à 2.0 |
| CIPC Thermo (36 g) | 4.2 à 4.3 | 0.3 à 0.6 | 4.5 à 4.9 |
| CIPC Brumisation (36 g) | 4.2 | 0.30 | 4.50 |
| Huile de menthe (200g) | 12 | 0.3 à 0.6 | 12.3 à 12.6 |
| | | | |
| CIPC Pd/UBV (5g) puis Ther. (24g) | 3.6 | 0.4 à 0.75 | 4.0 à 4.35 |
| HM (80%) + CIPC (24g) | 4.4 | 0.55 à 0.85 | 4.95 à 5.25 |
| HM (80%) + BioxM (120g) | 8.8 | 0.55 à 0.85 | 9.35 à 9.65 |

*..Soit une fourchette de 85 à 430 €/ha ... correspondant à 0,2 à 1,2 centimes par kg*

**Figure 45 : Coûts de différentes méthodes antigerminatives (source : Arvalis)**

Ces chiffres sont tirés d'une simulation réalisée par Arvalis sur un stockage de 1000t de pommes de terre pour un rendement moyen de 45 t/ha.

Sans tenir compte de l'efficacité de ces différentes méthodes, l'analyse met en évidence un delta entre la méthode la plus économique et la plus onéreuse de 460€/ha.

Cependant, les méthodes les moins coûteuses présentées ci-dessus telles que l'hydrazide maléique ou le CIPC en poudre ne peuvent satisfaire un stockage de longue

durée (2 à 3 mois maximum). C'est pourquoi, les différences importantes de coûts entre les techniques nécessitent d'être relativisées en fonction de la variété et du temps de stockage.

Si l'on souhaite mettre l'huile de menthe dans les mêmes conditions que ses adversaires, il faut alors se placer dans le cas d'un stockage à long terme (par exemple 6 mois).

Cela correspond aux quatre dernières lignes du tableau. L'écart est alors d'environ 8 à 10 €/tonne soit 360€/ha.

Le CIPC reste la molécule la mieux placée en rapport qualité/prix. L'aspect économique reste le point faible important de l'huile de menthe. Cet aspect est en partie dû au côté récent de la technique même si le procédé est connu depuis très longtemps mais également par le peu de produits commerciaux disponibles. En effet, le monopole est, pour le moment, détenu par XEDA INTERNALIONAL avec le Biox-M. Le CIPC est, quant à lui, employé depuis plus de 40 ans et est maintenant tombé dans le marché public, ce qui le rend beaucoup plus accessible.

#### 1.2.5.2. Comparatif technique

| | Hydrazide Maléique | Ethylène | CIPC | Huile de Menthe |
|---|---|---|---|---|
| **Utilisation** | 9 | 5 | 6 | 6 |
| **Réversibilité** | 3 | 7 | 3 | 9 |
| **Santé** | 7 | 2 | 4 | 9 |
| **Environnement** | 7 | 4 | 4 | 9 |
| **Coût** | 7 | 7 | 9 | 4 |
| **Efficacité** | 6 | 9 | 9 | 9 |
| **Global/10** | 6,5 | 5,6 | 5,83 | 7,7 |

**Figure 46 : Synthèse comparative des différentes molécules**

(Ce tableau est réalisé suite à la synthèse des études utilisées pour les différentes parties sur les antigerminatifs de ce document, comblant un manque de synthèse dans la littérature. Il est donné à titre informatif pour synthétiser les différentes notions étudiées. Les notes inférieures à 5 montrent un mauvais résultat, alors qu'une note supérieure montre un résultat correct, voire excellent s'il est supérieur à 8.)

### 1.2.6. Avantages et Inconvénients

Le coût de l'huile de menthe est son plus gros inconvénient par rapport à ses adversaires. Comme cela a été expliqué précédemment, le fait que ce procédé soit nouveau et le manque de produits commerciaux sur le marché ne joue pas en sa faveur. Néanmoins, si le coût d'utilisation est important et supérieur aux autres techniques, il permet ou peut permettre de réaliser d'importantes économies sur le stockage. En effet, il a été montré qu'avec cette technique, il est possible d'obtenir les mêmes résultats qu'avec le CIPC (voir supérieurs) dans des conditions moins froides 6-7 °C contre 3-4°C habituellement. Cela a un effet bénéfique direct sur la consommation d'énergie pendant la durée de stockage qui se traduit par une économie importante. De plus, l'augmentation de la température représente aussi un avantage sur l'aspect sanitaire puisqu'il limite les risques de maladie pour les plants.

Son emploi peut s'apparenter à la fois à un avantage et à un inconvénient. En effet, c'est un avantage puisque le produit utilisé ne représente pas de danger particulier pour l'applicateur. Cependant la méthode d'application (thermonébulisation) présente quelques risques du fait que l'on travaille à de très hautes températures. Cela implique d'être réalisé par une personne qualifiée et emploie du matériel spécifique, ce qui augmente le coût d'application par rapport à l'hydrazide maléique par exemple.

La réversibilité est un des avantages les plus importants pour l'huile de menthe. Sa faible persistance d'action et sa petite quantité de résidus sont de gros avantages vis-à-vis de l'hydrazide maléique et surtout du CIPC. Ce dernier reste très longtemps dans les parois des bâtiments de stockages, ce qui les condamne pour le stockage de plants ultérieurs. Cet aspect de l'huile de menthe lui permet également d'être utilisée en production de plants de pomme de terre.

Du point de vue de la santé humaine, c'est l'huile essentielle de menthe qui a le profil le plus intéressant parmi les quatre molécules. Les produits ayant reçus un traitement restent comestibles et il n'y a pas de délai d'attente avant commercialisation comme pour le CIPC ou l'hydrazide maléique.

Pour l'environnement, comme il s'agit d'un élément naturel, l'impact est beaucoup moins important que pour les autres produits.

Un autre avantage de l'huile de menthe est son efficacité. En effet, dans les essais (Arvalis par exemple) elle obtient de meilleurs résultats que le CIPC qui est, jusqu'à présent, la référence.

Son mode d’action lui confère une très bonne efficacité que ce soit en préventif ou en curatif.

# Conclusion

La menthe verte est une des plantes les plus répandues sur le territoire et connues par les hommes. Sa production ne réclame pas de conditions exceptionnelles et sa récolte peut se faire tout au long de l'année. L'extraction de son huile essentielle est relativement aisée (pas de souci d'approvisionnement ou de fragilité) et en fait donc une cible de choix éventuelle pour de multiples indications.

Les nouveaux modes de consommation, à la suite du Grenelle de l'environnement et des diverses politiques mises au point, remettent l'écologie au cœur des habitudes et réflexions de chacun. C'est dans ce cadre que les études menées depuis longtemps sur les plantes, paraissant parfois obsolètes, sont aujourd'hui synthétisées et approfondies.

Le constat évoqué sur les propriétés thérapeutiques met en évidence les capacités de cette substance à compléter, égaler voire substituer les produits actuels. Elle est utilisée dans de nombreuses indications mais est surtout connue pour ses activités antifongiques et antibactériennes. Le remplacement des antibiotiques reste tout de même à approfondir : l'huile essentielle est plutôt utilisée à l'heure actuelle comme complément de traitement. En effet, les études ne visent pas à donner de protocoles de traitement : les laboratoires ne lancent pas d'étude dans ce sens à l'heure actuelle. L'utilisation des huiles essentielles reste encore limitée et ne peut remplacer la médecine classique ; des précautions sont d'ailleurs importantes à respecter.

Ce phénomène est applicable dans d'autres domaines comme l'agriculture où la pression environnementale est également de mise. En effet, des molécules telles que le CIPC sont en ligne de mire des autorités et des associations de consommateurs. Les résultats des essais menés au début des années 2000 et plus récents d'Arvalis démontrent le pouvoir antigerminatif important de l'huile essentielle de *Mentha spicata* : elle concurrence, voire dépasse, l'efficacité du CIPC qui est la référence actuelle. D'autre part, elle répond pleinement à la question liée à l'environnement et aux attentes des consommateurs du fait de l'absence de résidus ainsi que des risques minimisés pour les utilisateurs. Enfin, la notion de réversibilité qui en fait un produit utilisable également en production de plants lui donne un avantage indéniable sur ses concurrents.

Cependant, si l'efficacité n'est plus à démontrer, il faut noter la puissance du produit qui parfois peut s'avérer être dangereux ou inapproprié ; c'est pourquoi il est nécessaire, afin de garantir la pérennité de la molécule, d'effectuer différents tests pour définir des protocoles spécifiques à chaque besoin (différentes variétés, différentes durées…). De plus, le coût

reste un frein non négligeable à son développement intensif dans le milieu agricole. Néanmoins, les charges qu'il représente peuvent permettre de réaliser de grosses économies quant à l'énergie utilisée pour maintenir les tubercules au froid. Il n'existe à ce jour pas d'étude permet de chiffrer l'économie réalisée.

# Bibliographie


Akdogan M, Tamer MN, Cure E, Cure MC, Koroglu BK, Delibas N Effect of spearmint (*Mentha spicata* Labiatae) teas on androgen levels in women with hirsutism, *Phytotherapy Research,* 21, p444-447 2007

Aliaga TJ, Feldheim W The ethereal oils of muna, *Umschau,* 84, p765 1984

Ansari MA, Mittal PK, Razdan RK Sreehari ULarvicidal and mosquito repellent activities of pine (*Pinus Longifolia*, Family :Pinaceae) oil, *Journal of Vector Borne diseases*, 42, p95-99 2005

APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, p105-121 2009

Auburn René, Magnan Didier Cultiver les plantes sauvages et comestibles, *Ed Artemis*, Presov 2008

Aumont Fresnet S La Menthe verte (Mentha viridis L.). *Thèse Doct. Pharm. Univ. Paris XI*, Chatenay, 208p. 1993

Bach TJ Synthesis and metabolism of mevalonic acid in plants, *Plant Physiology and Biochemistry,* 25, p163-178 1987

Bach TJ, Boronat A, Caelles C, Ferrer A, Weber T, Wettstein A Aspects related to mevalonate biosynthesis in plants, *Lipids,* 26, p637-648 1991

Bach TJ, Boronat A, Campos N, Ferrer A, Vollack KU Mevalonate biosynthesis in plants, *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology,* 34, p107-122 1999

Bishop JC, Schweers VH Sprout inhibition of fall-grown potatoes by airplane applications of maleic hydrazide, *American Potato Journal*, 38 (11), p377-381, 1961

Boukhebti H, Chaker AN, Belhadj H, Sahli F, Ramdhani M, Laouer H, Harzallah D Chemical composition and antibacterial activity of Mentha pulegium L. and Mentha spicata L. essential oils, *Der Pharmacie Lettre 3*, 4, p267-275 2011

Boukhobza F, Goetz P Phytothérapie en odontologie, *Ed CdP*, 226p., 2014

Bourgeois Laurent Remèdes et recettes de grand-mère, *Rustica ed*., Paris 2009

Bruneton Jean Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinales, 3e édition, *Ed Tec et Doc*, Paris 1999

Buronzo AM, Schnebelen JC Huiles essentielles : les 18 huiles essentielles pour se soigner, *Ed First-Gründ, Paris 2012*

Campbell MA, Gleichsner A, Alsbury R, Horvath D, Suttle J The sprout inhibitors chlorpropham and 1,4-dimethylnaphthalene elicit different transcriptional profles and do not suppress growth through a prolongation of the dormant state, *Plant Molecular Biology*, 73(1-2), p181-189 2010

Carter OA, Peters RJ, Croteau R Monoterpene biosynthesis pathway construction in Escherichia coli, *Phytochemistry*, 64, p425-433 2003

Charpentier B, Hamon-Lorléac'h F, Harlay A, Huard A, Ridoux L, Chansellé S Guide du préparateur en pharmacie, 3e édition, *Ed Elsevier Masson*, Issy-les-Moulineaux, 1358 p.,2008

Chauhan SS, Prakash O, Padalia RC, Vivekanand, Pant AK, Mathela CS Chemical composition in *Mentha spicata* : Antioxydant and potato sprout inhibition activity of its essential oils, *Natural Product Communications,* 6(9), p1373-1378 2011

Coffin RH, Yada RY, Parkin KL, Grodzinski B, Stanley DW Effect of low temperature storage on sugar concentrations and chip color of certain processing potato cultivars and selection*, Journal of Food Science*, 52, p639-645 1987

Conte E, Imbroglini G, Bertolini P, Camoni I Presence of sprout inhibitor residues in potatoes in relation to application techniques, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, p2985-2987 1995

De Monet de Lamarck Jean-Baptiste, De Candolle Augustin Pyramus Flore française ; ou, descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France, 3e edition, *Ed Chez H. Agasse*, Paris 1805

Dupont Frédéric, Guignard Jean-Louis Botanique : Les familles de plantes, *Elsevier,* Masson, Issy-les-Moulineaux 2012

Duvallet G, De Gentile L Protection personnelle antivectorielle, *Ed IRD*, Bondy, 352p., 2012

Elfadl Abdellatif, Skiredj Ahmed Bulletin mensuel d'information et de liaison de la PNTTA n° 97 : Transfert de technologie en agriculture 2002

Eshel D, Orenstein J, Hazanovsky M, Tsror L, Control of sprouting and tuber-borne diseases of stored potato by environment-friendly method, *Acta Horticulturae*, 830, p363-368 2008

Ferriman D, Gallwey JD Clinical assessment of body hair growth in women, *Journal of Clinical Endocrinology*, 21, p1440-1447 1961

Fournier Paul-Victor Dictionnaire des plantes médicinales et vénéneuses de France, *Omnibus*, Paris 2010

Franchomme P, Pénoël D, Jollois R L'aromathérapie exactement, *Editions Roger Jollois*, France 2001

Gartrell MJ, Craun JC, Podrebarac DS, Gunderson EL Pesticides, selected elements, and other chemicals in adult total diet samples, October 1980 March 1982, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists,* 69, p146-161 1986

Gomez-Castillo D, Cruz E, Iguaz A, Arroqui C, Virseda P Effects of essential oils on sprout suppression and quality of potota cultivars, *Postharvest Biology and Technology*, 82 p15-21 2013

Govindarajan M Chemical composition and larvicidal activity of leaf essential oil from *Clausena anisata* (willd.) Hook. F. Benth (Rutaceae) against three mosquito species, asian pacific, *Journal of tropical biomedicine*, 8, p874-877 2010

Govindarajan M, Sivakumar R, Rajeswari M, Yogalakshmi K Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Mentha spicata* (Linn.) against three mosquito species, *Parasitology Research*, 110, p2023-2032 2012

Grant Paul Spearmint herbal tea has significant anti-androgen effects in polycystic ovarian syndrome. A randomized controlled trial, *Phytotherapy research*, 24, p186-188 2010

Grison C, Grison MC La pomme de terre : caractéristiques et qualités alimentaires, *Paris:Association pour la promotion Industrie Agriculture,* Paris 1983

Grosjean Florence Etude botanique, physicochimique et pharmacologique de Mentha pulegium L. et Mentha viridis L. var Nahnah ; Comparaison de l'activité antifongique des huiles essentielles. *Thèse de pharmacie soutenue à la faculté de Besançon*, 165p. 1990

Gunderson EL FDA total diet study, April 1982 April 1984, dietary intakes of pesticides, selected elements, and other chemicals, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists,* 71, p1200-1209 1988

Hebeish A, Fouda M, Hamdy I, Elsawy S, Abdelmohdy F Preparation of durable insect repellent cotton fabric: Limonene as insecticide, *Carbohydrate Polymers*, 74, p268-273 2008

Hepler PK, Jackson WT, Isopropyl N-phenylcarbamate affects spindle microtubule orientation in divising endosperm cells of *Haemanthus katherinae* Baker, *Journal of Cell Science*, 5, p727-743 1989

Huang Z, Tian S, Ge X, Zhang J, Li S, Li M, Chang J, Zheng H Complexation of chlorpropham with hydroxypropyl-β-cyclodextrin and its application in potato sprout inhibition, *Carbohydrate Polymers*, 107, p241-246 2014

Hussain AI, Anwar F, Nigam PS, Ashraf M, Gilani AH Seasonal variation in content, chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of essential oils from four *Mentha* species, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, p1827-1836 2010

Isman MB, Machial CM, Miresmailli S, Bainard LD Essential oil-based pesticides : new insights from old chemistry. In : Ohkawa H, Miyagawa H, Lee PW (Eds.), Pesticide Chemistry, *Wiley-VCH*, Weinheim 2007

Jones SG Introduction to Floral Mechanism, *Blachie and Son Ltd*, London and Glasgow 1939

Johnson AW, Invitation to Organic Chemistry, *Jones and Bartlett Publisher,* Sudbery 1999

Jouault S La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité, *Thèse Doct. Pharm. Univ*. Lorraine,146p., 2012

Judd Walter, Bouharmont Jules, Evrard Charles-Marie Botanique systématique : une perspective phylogénétique, *De Boeck Université*, Paris ;Bruxelles 2002

Kaloustian J, Hadji-Minaglou F La connaissance des huiles essentielles : Qualitologie et aromathérapie – Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée, *Springer-Verlab*, Paris 2012

Karaki H, Ozaki H, Hori M, Mitsui-Saito M, Amano K, Harada K, Miyamoto S, Nakazawa H, Won KJ, Sato K Calcium movements, distribution, and functions in smooth muscle, *Pharmacological Review*, 49(2), p157-230 1997

Kedia A, Prakash B, Mishra PK, Chanotiya CS, Dubey NK Antifungal, antiaflatoxigenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil, *International biodeterioration & biodegradation,* 89, p29-36 2014

Kleinkopf GE, Frazier MJ, Alternative sprout suppressants for stored potatoes, In : *Anonymous Idaho Potato Conference* 2002

Kleinkopf G, Oberg N, Olsen N Sprout inhibition in storage : Current status, new chemistries and natural compounds, *American Journal of Potato Research*, 80(5), p317-327 2003

Koeller JM, Aapro MS, Gralla RJ, Grunberg SM, Hesketh PJ, Kris MG, Clark-Snow RA Antiemetic guidelines : creating a more practical treatment approach, *Support Care Cancer,* 10, p519-522 2002

Lauwson K, Cavero I Effects of Ca2+ antagonists and K+-channel activators on K+-induced contractions in the rat aorta, *Journal of Autonomic Pharmacology*, 9(5), p329-336 1989

Marcano L, Carruyo I, Del Campo A, Montiel X Cytotoxicity and mode of action of maleix hydrazide in root tips, *Environmental Research* 94, p221-226 2004

Marostica Jr MR, Pastore GM Production of R-(+)-α-terpineol by the biotransformation of limonene from orange essential oil using cassava waste water as medium, *Food Chemistry*, 101(1), p345-350 2007

Martin M, Gravoueille JM Stockage et conservation des pommes de terre, *Editions Institut techniques des céréales et des fourrages*, Etoile en Rhône,88p 2001

Martins MR, Tinoco MT, Almeida AS, Cruz-Morais J Chemical composition, antioxydant and antimicrobial properties of three essential oils from portuguese flora, *Journal of pharmacognosy*, 3(1), p39-44 2012

Nakagawa Y, Nakajima K, Suzuki T Chlorpropham induces mitochondrial dysfunction in rat hepatocytes, *Toxicology* 200, p123-133 2004

Nultsch W, Botanique générale, *De Boeck Université*, Paris 1998

Paris M, Clair G Etude des huiles essentielles de différentes espèces et variétés de menthes cultivées en France, Travaux de laboratoire de matière médicale de l'Ecole supérieure de pharmacie de Paris, Impr Jouves, Paris 1968

Paris RR, Moyse H Précis de matière médicale. Tome 3, *Masson*, Paris 1971

Peng Z, Yang J, Wang H, Simons FER Production and characterization of monoclonal antibodies to two new mosquito Aedes aegypti salivary proteins, *Insect biochemistry and molecular biology*, 28, p909-914 1999

Pharmacopée française 10e édition, Moulins-lès-Metz : Maisonneuve 1998

Pitrat M, Foury C Histoires de légumes : des origines à l'orée du XXIe siècle, *Institut national de la recherche agronomique* 2003

Polese JM La culture des pommes de terre, *Artémis*, Chamalières 2006

Prakash B, Shukla R, Singh P, Kumar A, Mishra PK, Dubey NK Efficacy of chemically characterized *Piper betle* L. essential oil against fungal and aflatoxin contamination of some edible commodities and its antioxydant activity, *International Journal of Food Microbiology,* 142, p114-119 *20*10

Prakash B, Singh P, Kedia A, Dubey NK Assessment of some essential oils as food preservatives based on antifungal, antiaflatoxin, antioxidant activities and in vivo efficacy in food system, *Food Research International,* 49, 9201-208 2012

Prakash B, Singh P, Yadav S, Singh SC, Dubey NK Safety profile assessment and efficacy of chemically characterized *Cinnamomum glaucescens* essential oil against storage fungi, insect, aflatoxin secretion and as antioxidant, *Food and Chemical Toxicology,* 53, p160-167 2013

Pujol I, Capilla J, Fernandez-Torres B, Ortoneda M, Guarro J Use of the Sensititre colorimetric microdilution panel for antifungal sesceptibility testing of dermatophytes, *Journal of Clinical Microbiology*, 40, p2618-2621 2002

Reid MS Ethylène in plant growth, development, and senescence, Plant hormones : Physiology, *Biochemistry and Molecular Biology*, 2, p486-508, 1995

Rousselle P, Robert Y, Crosnier JC La pomme de terre : production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations, Institut national de la recherche agronomique, Institut technique des céréales et des fourrages, Paris 1996

Roux Daniele Conseil en aromathérapie, *Wolters Kluwer* 2008

Rylski I, Rappaport L, Pratt HK Dual effects of ethylene on potato dormancy and sprout growth, *American Society of Plant Physiology*, 53, p658-662 1974

Scherer Rodrigo, Fumiere Lemos Mayara, Fumiere Lemos Mariana, Coimbra Martinelli Gésika, Damasceno Lopes Martin Joao, Gomes da Silva Ary Antioxydant and antibacterial activities and composition of Brazilian spearmint (Mentha spicata L.), *Industrial Crops and Products,* 50, p408-413 2013

Scott GJ, Rosegrant MW, Ringler C Global projections for root and tuber crops to the year 2020, *Food Policy*, 25, p561-597 2000

Segur-Fantino N, Maia N, Derbesy M Variations chimiotypiques chez les Labiées, *Bulletin de la société de Mulhouse*, 4, p94-95 1990

Shukla R, Kumar A, Singh P, Dubey NK Efficacy of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown essential oil and its monoterpene aldehyde constituents against fungi isolated from some edible legume seeds and aflatoxin $B_1$ production, *International Journal of Food Microbiolog*y, 135, p165-170 2009

Sonnewald S, Sonnewald U Regulation of potato tuber sprouting, *Planta*, 239, p27-38 2014

Sokovic Marina D, Vukojevic Jelena, Marin Petar D, Brkic Dejan D, Vajs Vlatka, Van Griensven Leo JLD Chemical composition of essential oils of Thymus and Mentha species and their antifungal activities, *Molecules*, 14, p238-249 2009

Souza Fabia Valeria M, da Rocha Marcelly Barbosa, de Souza Da, pmiao P, Moretti Marçal Rosilene (-)-Carvone: Antispasmodic effect and mode of action, *Fitoterapia*, p 20-24 2013

Sommerard Jean-Charles Les eaux florales, *Presses du Chatelet*, Paris 2012

Staub Hervé, Bayer Lily Traité approfondi de phyto-aromathérapie : avec présentation de 750 huiles essentielles connues, *Ed Grancher*, Paris 2013

Suttle JC Involvement of ethylene in potato microtuber dormancy, *American Society of Plant Physiologists*, 118(3), p843-848 1998

Tayarani-Najaran Z, Talasaz-Firoozi E, Nasiri N, Hassanzadeh MK Antiemetic activity of volatile oil from Mentha spicata and Mentha x piperita in chemotherapy-induced nausea and vomiting, E*cancermedicalscienc*e, 7, p290 2013

Teper-Bamnolker P, Dudai N, Fischer R, Belausov E, Zemach H, Shoseyov O, Eshel D Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem, *Planta*, 232(1), p179-186 2010

Teuscher Eberhard, Anton Robert, Lobstein Annelise Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles, *Ed Tec & Doc*, Paris 2005

Tian J, Huang B, Luo X, Zeng H, Ban X, He J, Wang Y The control of *aspergillus flavus* with *cinnamomum jensenianum* Hand.-Mazz essential oil and its potential use as a food preservative, *Food Chemistry*, 130, p520-527 2012

Ticha I Mechanisms of plant growth and improved productivity : modern approaches, *Biologia Plantarum,* 39(1), p98 1997

Tiwary M, Naik SN, Tewaryb DK, Mittalc PK, Yadavc S Chemical composition and larvicidal activities of the essential oil of *Zanthoxylum armatum* DC (Rutaceae) against three mosquito vectors, *Journal Of Vector born diseases*, 44, p198-204 2007

Touati Boumediene, Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de menthe verte (Mentha viridis). *Thèse pour le doctorat de l'INSA de Lyon* soutenue à Lyon 2008

Vaubourdolle M, Porquet D Médicaments, Collection Le Moniteur internat ; 4, *Wolters Kluwer,* Rueil-Malmaison 2013

Vaughn KC, Lehnen LP, Mitotic disrupter herbicides, *Weed Science*, 39(3), p450-457 1991

Vokou D, Vareltzidou S, Katinakis P Effects of aromatic plants on potato storage - sprout suppression and antimicrobial activity, *Agriculture Ecosystems and Environment* 47, p223-235 1993

Weissenborn DL, Denbow CJ, Laine M, Lang SS, Yang ZB, Yu XS, Cramer CL HMG-CoA reductase and terpenoid phytoalexins: molecular specialization within a complex pathway, *Physiologia Plantarum,* 93, p393-400 1995

Williams HJ, Philips TD, Jolly EP, Stiles KJ Aggrwal D human aflatoxicosis in developping countries : A review of toxicology, exposure, potential health consequences, and intervention, *The American Journal of Clinical Nutrition,* 80, p1106-1122 2004

Williot JP, Ferrière M La saga de la pomme de terre, *Ed Cercle d'Art,* Paris 2008

Worthing C, Hance R The pesticide manual. 9th ed., *British Crop Protection Council* 1991