

**PLANTES AROMATIQUES & MÉDICINALES**

**Atouts du secteur et exigences pour  
une valorisation durable**

**Bachir BENJILALI\* & Saâdia ZRIRA\***

\* Département des Sciences Alimentaires et Nutritionnelles,  
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,  
B.P. 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc  
e-courrier : b.benjlali@iav.ac.ma  
s.zrira@iav.ac.ma

## Remerciements

Cet ouvrage présente une partie des résultats obtenus au sein du laboratoire des PAM de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II depuis 1975.

Ont contribué à ces travaux de nombreux chercheurs dont le Professeur Hubert RICHARD de l'ENSIA de Massy (France) et plusieurs de mes élèves. Il est m'est impossible de les citer tous. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de mes vifs remerciements.

Bien entendu, plusieurs organismes nationaux et internationaux ont apporté directement ou indirectement leur soutien logistique à ces travaux de Recherche-Développement. On peut citer l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, le Ministère de l'Agriculture du Maroc, la Fondation Internationale pour la Science (FIS), le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI), la Coopération Technique Française, la TWAS, ... Qu'ils soient tous remerciés.

Que le Professeur Moussa ETTALIBI, Éditeur en Chef d'Actes Éditions, soit également remercié pour ses précieux conseils.

**Pr B. BENJILALI**

© Actes Éditions, 2005

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

B.P. 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc

Tél. : 037 77 43 51 Fax : 037 77 81 35

e-mail : m.ettalibi@iav.ac.ma

Dépôt légal: 2004/1503

ISBN : 9981-801-64-X

Tous droits de reproduction, même partielle, et  
de traduction réservés aux auteurs

# SOMMAIRE

<b>Préface</b> .....	<b>7</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>9</b>
<b>Chapitre 1. Le secteur des plantes aromatiques et médicinales (PAM) dans le monde</b> .....	<b>13</b>
1. Introduction .....	13
2. Secteurs utilisateurs .....	14
3. Contexte actuel du marché international .....	22
4. Conclusions .....	32
<b>Chapitre 2. Présentation d'une expérience d'exploitation des PAM</b> .....	<b>37</b>
1. Introduction .....	37
2. Systèmes de production .....	38
3. Profession d'exploitation des PAM au Maroc .....	43
4. Technologies utilisées .....	47
5. Réalisations du secteur .....	47
6. Conclusions .....	82
<b>Chapitre 3. Stratégie pour le développement du secteur des PAM</b> .....	<b>87</b>
1. Introduction .....	87
2. Valorisation du potentiel naturel .....	87
3. Connaissance du marché international .....	98
4. Politique de produits et de production .....	103
5. Technologies de production .....	106
6. Acteurs concernés par cette stratégie .....	110
7. Conclusions .....	112
<b>Chapitre 4. Technologies de production des PAM séchées</b> .....	<b>115</b>
1. Introduction .....	115
2. Production des plantes séchées .....	115
3. Technologie de séchage des PAM .....	120
4. Qualité des PAM séchées .....	152
5. Conclusions .....	163
<b>Chapitre 5. Obtention des huiles essentielles et autres extraits aromatiques</b> .....	<b>165</b>
1. Introduction .....	165
2. Principaux extraits des PAM .....	165
3. Distillation des plantes aromatiques .....	177
4. Conclusions .....	185
<b>Chapitre 6. Dimensionnement et installation d'une distillerie des PAM</b> .....	<b>187</b>
1. Introduction .....	187
2. Volume et capacité de charge d'un alambic .....	187
3. Production de vapeur d'eau .....	190
4. Besoins en eau froide .....	202

5. Lieu d'installation d'une distillerie .....	205
6. Gestion des sous-produits de la distillation .....	207
7. Conclusions .....	211
<b>Chapitre 7. Équipements pour la distillation des plantes aromatiques .....</b>	<b>213</b>
1. Introduction .....	213
2. Alambic .....	213
3. Condenseurs .....	223
4. Essencier .....	230
5. Système de cohobation .....	233
6. Stockage .....	233
7. Quelques équipements modernes pour la distillation des PAM .....	235
8. Conclusions .....	247
<b>Chapitre 8. Principaux facteurs affectant la distillation des PAM .....</b>	<b>249</b>
1. Introduction .....	249
2. Facteurs liés à la conception de l'équipement .....	249
3. Facteurs liés aux procédés de distillation .....	254
4. Facteurs liés à la nature de la plante et à la qualité de la matière première .....	273
5. Conclusions .....	275
<b>Chapitre 9. Analyse technique de la production des PAM séchées au Maroc .....</b>	<b>277</b>
1. Introduction .....	277
2. Séchage .....	277
3. Nettoyage .....	279
4. Conditionnement et emballage des plantes .....	285
5. Technologie de la tisanderie .....	286
6. Conclusion .....	292
<b>Chapitre 10. Analyse technique d'une expérience de distillation des PAM .....</b>	<b>293</b>
1. Introduction .....	293
2. Équipements utilisés .....	294
4. Durée de distillation .....	308
5. Charge de l'alambic .....	309
6. Consommation de vapeur .....	309
7. Traitement du matériel végétal avant sa mise en distillation .....	310
8. Maîtrise de la qualité du matériel végétal à la récolte .....	311
9. État de séchage de la plante avant sa distillation .....	312
10. Production de vapeur .....	312
11. Condensation de la vapeur .....	313
12. Conclusions .....	314
<b>Conclusions générales .....</b>	<b>315</b>
<b>Références citées .....</b>	<b>327</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>335-346</b>

---

## Préface

L'Homme a connu et utilisé les ressources naturelles en plantes aromatiques et médicinales (PAM) depuis la haute antiquité. Toutes les grandes civilisations anciennes (chinoise, égyptienne, babylonienne, grecque, romaine, etc.) ont eu recours aux PAM pour leurs propriétés médicinales, parfumantes et/ou aromatisantes des aliments sans parler des utilisations rituelles. La distillation des PAM aurait été connue depuis 5000 ans par les populations de la vallée de l'Indus (Pakistan d'aujourd'hui). Cette technique, mise au point et développée par Ibn Sina à la fin du dixième siècle, a été ensuite transférée en Europe par les croisés et via l'Andalousie. Depuis le dix-septième siècle, ce secteur n'a cessé de se développer, de se diversifier et d'améliorer ses technologies, en Europe d'abord, et dans le monde entier, ensuite.

Malgré cette histoire, longue et riche, le présent ouvrage nous montre que le secteur des PAM suscite encore une grande activité de recherche-développement à travers le monde. Ce secteur intéresse aussi bien les pays développés que les pays en voie de développement. Les premiers espèrent l'utiliser pour la conversion d'espaces à productions agricoles excédentaires sur le marché et/ou pour la mise en valeur de régions peu propices aux grandes productions classiques. Les pays en voie de développement y trouvent un moyen non seulement de diversifier leurs productions agricoles nationales, mais aussi de valoriser au mieux les espaces fragiles à potentialités économiques limitées et d'offrir à certaines populations des zones marginales (régions semi-arides, montagneuses, ...) des sources de revenus particulièrement intéressantes. Le secteur des PAM ne cesse de se diversifier par ses productions agricoles, mais aussi par les technologies qu'il met en œuvre, par les produits élaborés ainsi que par les marchés de destination. Par ailleurs, son marché en croissance continue est en profonde restructuration, la qualité étant de plus en plus une exigence.

De par sa situation géographique, le Maroc constitue un cadre naturel tout à fait original offrant une gamme complète de bioclimats méditerranéens favorisant une flore riche et variée avec un endémisme très marqué. Sur les 5000 espèces et sous-espèces végétales répertoriées en Afrique du Nord, 4200 existent au Maroc contre 2100 en Égypte, 1800 en Libye, 2200 en Tunisie, 3500 en Algérie et 1100 en Mauritanie. Sur les 4200 espèces et sous-espèces du Maroc, 900 sont endémiques du pays soit 21%. Le Maroc occupe ainsi la première place parmi les pays du Sud de la Méditerranée pour sa richesse en plantes endémiques. Les PAM au Maroc n'échappent pas à cette règle. Les espèces et sous-espèces potentiellement aromatiques et/ou médicinales sont estimées à plusieurs centaines (500 environ) dont un grand nombre est endémique.

Depuis des siècles, le Maroc utilise les PAM pour leurs propriétés médicinales, parfumantes et aromatiques. Bien que vulgarisée dans le monde arabo-musulman

à partir de la fin du dixième siècle, la technologie de distillation a été particulièrement conservée au Maroc. Pour la préparation, entre autres, des essences et eaux de rose et de bigaradier, les appareils de distillation familiaux sont bien connus.

Au Maroc, l'industrialisation du secteur des PAM a commencé durant les années 20 du siècle dernier sous l'impulsion de pionniers français. À partir de l'indépendance, le secteur a commencé à être investi par des nationaux. Il existe aujourd'hui des dizaines d'entreprises intervenant dans le domaine. Le chiffre d'affaires global du secteur à l'export (316 millions de DH/an en moyenne à la fin des années 90) est en progression continue. Cependant, les potentialités réelles du secteur sont loin d'être entièrement connues, encore moins valorisées

Une activité de recherche-développement sur la ressource naturelle en plantes aromatiques et médicinales, dans les établissements universitaires marocains, s'est accélérée depuis les années 70.

Dans cet ouvrage, les professeurs Bachir BENJILALI et Saâdia ZRIRA nous font état d'une partie des résultats accumulés à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II sur le sujet. Les auteurs ont cherché à appréhender plusieurs questions de grande importance: potentialités du secteur des PAM, possibilités réelles de valorisation, impacts économiques et socio-économiques, exigences scientifiques, techniques et économiques, maîtrise des technologies et procédés utilisés.

En plus de ses données scientifiques et techniques, cet ouvrage, bien réalisé par Actes Editions, présente aussi un intérêt pratique. À ce propos, les auteurs en faisant référence à l'expérience marocaine dans le domaine des PAM n'hésitent pas à mettre en relief des encadrés pour faciliter la tâche à tous ceux et celles qui veulent se lancer dans ce créneau. Ce travail constitue le meilleur moyen pour valoriser les ressources naturelles du secteur et de créer de la richesse au profit des populations généralement marginalisées.

Résultat d'une synthèse cohérente entre les connaissances scientifiques et techniques de base, d'une part, et d'une analyse des aspects économiques, socio-économiques, technologiques et des préoccupations de gestion durable des ressources naturelles, d'autre part, ce livre, le premier de son genre au Maroc, est une preuve, si besoin est, des potentialités nationales en matière de recherche scientifique pour le développement économique.

Ce livre sera très utile non seulement aux développeurs, mais également à tout intervenant dans le secteur aussi bien au Maroc qu'ailleurs. Les jeunes chercheurs y trouveront, sans aucun doute, les éléments de base d'une stratégie et/ou programme de recherche dans le domaine des PAM.

**Mohand LAENSER**  
Ministre de l'Agriculture, du Développement  
Rural et des Pêches Maritimes



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Homme a connu et utilisé les plantes aromatiques et médicinales (PAM), depuis l'antiquité :

- Les Égyptiens de l'antiquité connaissaient bien les vertus des plantes médicinales et des huiles aromatiques qu'ils utilisaient pour leurs usages personnels ainsi que pour les rituels et les cérémonies dans les temples et les pyramides. Le Papyrus Ebers de l'ancienne Égypte, remontant à 1500 ans avant J.C., appelé «parchemin médicinal», mentionnait plus de 800 prescriptions et remèdes à base de plantes.
- Plusieurs manuscrits chinois, qui remontent à des milliers d'années avant notre ère, décrivaient déjà de nombreuses recettes à base de plantes et d'huiles aromatiques que les prêtres et les médecins utilisaient.
- Les romains connaissaient bien la technique de fumigation. Ils l'utilisaient pour parfumer leurs temples et édifices officiels. Les huiles aromatiques leur servaient à parfumer leurs bains.

Les PAM étaient, à cette époque déjà, utilisées à diverses fins. Elles servaient, certes, d'abord, à soigner diverses maladies, à parfumer l'ambiance et le corps humain et à aromatiser des plats alimentaires, mais elles avaient également des utilisations rituelles. Les Égyptiens et les Babyloniens croyaient que pour atteindre un niveau supérieur de spiritualité, ils devaient être beaux et purs. Ils pratiquaient, par exemple, la fumigation pour parfumer l'ambiance, purifier l'air et se protéger ainsi contre les mauvais esprits.

La distillation des PAM aurait été connue, il y a 5000 ans environ, comme en témoigne un appareil de distillation, en terre cuite, découvert dans la vallée de l'Indus au Pakistan (Pellerin, 2000).

Toutefois, la distillation des PAM et les alambics utilisés pour l'obtention des huiles essentielles, tels que nous les connaissons aujourd'hui, ont été conçus et développés par Avicenne (Ibn Sina) à la fin du dixième siècle.

Ce procédé a été ensuite transféré en Europe, à l'époque des guerres des croisades ainsi qu'à partir de l'Andalousie où cette technologie a connu un développement important durant l'apogée de la civilisation arabo-musulmane dans la région.

L'industrialisation du secteur a commencé, réellement, au XVIII<sup>ème</sup> siècle en Europe et particulièrement à Grasse, en France. Depuis cette époque, cette industrie n'a cessé de se développer, de se diversifier et de migrer vers d'autres horizons (continents et pays). Des cultures et des technologies modernes, relatives au secteur, ont vu le jour dans plusieurs pays à travers le monde. Des multinationales, spécialisées dans le secteur, sont apparues ces dernières décennies. Elles essaient d'intégrer, verticalement, toute la filière depuis la production de la biomasse végétale jusqu'au produit fini, abstraction faite des pays intervenant dans cette chaîne.

Parallèlement à cette évolution, on assiste, aujourd'hui encore, à un fort engouement autour du secteur. Certains pays développés (producteurs classiques de PAM et dérivés ou de nouveaux fournisseurs des mêmes produits) s'intéressent de plus en plus à ce secteur. Ils le considèrent comme un moyen de conversion de certaines espaces agricoles dont les productions sont aujourd'hui excédentaires (céréales par exemple). Les PAM sont également, parfois, considérées comme des spéculations agricoles bien adaptées aux régions montagneuses, semi-arides, ... qui se prêtent mal aux grandes cultures.

De nouveaux pays en voie de développement (PVD) s'intéressent à ce secteur le considérant comme moyen de diversification de l'activité agricole de leurs populations rurales. La production des PAM est également perçue par certains PVD, comme une activité à fort potentiel pour le développement socio-économique des populations rurales vivant dans des zones marginalisées. Des organisations internationales, la FAO entre autres, soutiennent, d'une façon ou d'une autre, des visions similaires.

De nombreuses personnes, individuellement ou en groupes, surtout dans les PVD, cherchent à investir dans le secteur. Elles pensent, à tort ou à raison, qu'il s'agit d'un secteur facile et peu exigeant aussi bien financièrement que techniquement. De nombreux laboratoires de recherche dans les PVD, essentiellement universitaires, essaient

de se spécialiser dans le secteur parce qu'ils croient qu'il est prometteur sur le plan économique et relativement facile sur le plan technique. Ils pensent également qu'il permet, avec relativement peu de moyens, un rayonnement scientifique du laboratoire et des chercheurs. Sur le plan technique, on assiste, régulièrement, à la mise au point de nouvelles techniques pour l'élaboration de nouveaux produits à partir de cette biomasse végétale. Même pour les produits classiques (plantes séchées et huiles essentielles par exemple), les technologies utilisées ne cessent d'évoluer et de se perfectionner.

Cet ouvrage s'articule autour de trois questions essentielles :

- **Situation du secteur à l'échelle internationale et locale**

Pour comprendre et, éventuellement, orienter l'engouement décrit précédemment qui continue à s'opérer autour du secteur des PAM, on essaiera de décrire la situation de ce dernier à l'échelle internationale et locale. On évaluera, ainsi, les perspectives d'avenir du marché et les conditions de réussite des pays et acteurs économiques qui voudraient investir dans la valorisation des ressources naturelles aromatiques et médicinales.

- **Production des PAM séchées**

La valorisation de la ressource naturelle en PAM peut se faire de diverses façons dont celle de la production de plantes (ou parties de plantes) séchées pour l'aromatization des aliments (épices et aromates alimentaires) ou pour l'herboristerie. Cette forme de mise en valeur est la plus ancienne et la plus courante, encore aujourd'hui. On décrira, pour ce segment de secteur, les exigences de qualité imposées par le marché, les règles du bon usage industriel, les conséquences technologiques qui en découlent et les adaptations nécessaires qui s'imposent.

- **Production d'huiles essentielles**

La distillation des PAM, pour la production d'huiles essentielles destinées à la parfumerie et cosmétique, à la formulation des arômes alimentaires, à l'industrie pharmaceutique ou à l'aromathérapie, etc., représente, au moins de point de vue économique, la deuxième forme de valorisation des PAM. Ce segment de secteur est, certes,

très ancien, mais il est toujours l'objet de nombreuses innovations technologiques et de perfectionnement. On décrira dans cet ouvrage les exigences scientifiques, techniques et technologiques nécessaires pour la modernisation de cette filière. Les éléments de calcul et de décision pour le dimensionnement et l'installation d'une distillerie seront établis.

## LE SECTEUR DES PLANTES AROMATIQUES ET MÉDICINALES (PAM) DANS LE MONDE

### 1. INTRODUCTION

En l'absence de définitions précises des notions de plantes aromatiques et de plantes médicinales ainsi que de leurs extraits, il apparaît difficile de délimiter leur secteur, comme de dresser une liste exhaustive des produits concernés. La définition «Épice» n'est pas spécifiquement distincte de celle de «Plantes Aromatiques». Elle (= épice) renvoie à l'origine tropicale des plantes concernées dont la production et les échanges portent sur des volumes très importants. Les «Aromates» [= plantes aromatiques] sont, le plus souvent, originaires des pays tempérés comme les condiments. Le chiffre de cent cinquante plantes paraît un chiffre minimal dont les importances relatives - agricoles, techniques, commerciales - sont très éloignées les unes des autres. Ces diverses plantes peuvent être, tour à tour ou ensemble, aromatiques, médicinales, cosmétiques ou de parfumerie. Les unes et les autres sont utilisées sous diverses formes: en l'état, transformées (déshydratées, surgelées ...), élaborées (extraits, huiles essentielles, oléorésines, isolats). Elles peuvent également se distinguer selon les organes récoltés (Peyron, 2000).

Le secteur des PAM est ainsi un domaine industriel, qui a ses propres caractéristiques:

- Il s'agit d'un secteur large et diversifié. Il est large par le nombre d'espèces végétales qu'il peut englober ainsi que par la destination de ses productions. Il s'étend depuis l'herboristerie classique et simple jusqu'à l'industrie pharmaceutique de pointe en passant par l'herboristerie moderne, la conception et la réalisation de diverses préparations plus ou moins sophistiquées à propriétés aromatisantes, médicamenteuses, etc.
- Ce secteur est à frontières floues et peu précises. Une même plante peut être à la fois une espèce aromatique et médicinale (thym, romarin, estragon, fenouil,...) ou une plante alimentaire et aromatique (carotte, fenouil, fraise). Dans d'autres cas, la même

espèce est à la fois une plante alimentaire et médicinale (artichaut par exemple) ou mieux encore, alimentaire, médicinale et aromatique (la mauve par exemple), etc.

- Le même secteur fait intervenir des technologies très variées pouvant comprendre l'extraction, le séchage, le froid, la stérilisation, etc.
- Certains segments du secteur sont en pleine expansion.

Ce chapitre tentera de décrire le secteur des PAM à l'échelle internationale à savoir les caractéristiques dudit secteur, les segments qui le composent ainsi que la situation du marché international de ces produits. On analysera pour ce dernier point la situation actuelle dudit marché, ses tendances, ses exigences, son organisation et les perspectives d'avenir. Dans ce cadre on fera appel, et à titre d'exemples, à l'expérience marocaine pour élucider certains aspects de la question.

## **2. SECTEURS UTILISATEURS**

Vu la diversité et la complexité du secteur, il est courant de procéder à une classification dans ce dernier, suivant les domaines d'utilisation des plantes et de leurs dérivés.

Par souci de simplification, on procède généralement à la classification suivante, sachant qu'une même espèce végétale peut se trouver dans plusieurs classes et, à plus forte raison, une même entreprise peut agir dans plusieurs filières distinctes.

### **2.1. Plantes à intérêts médicaux**

Ce segment du marché est en constante progression. Bien que difficile à estimer, on pense que le chiffre d'affaires des échanges internationaux relatifs à ce segment a été de 355 millions de \$ en 1976, 550 millions de \$ en 1980 et 700 millions de \$ huit ans plus tard (ONIPAM, 1995). Le marché global de l'Union Européenne pour les plantes destinées à la phytothérapie a été estimé à 1.45 milliards de dollars en 1990 (ONIPAM, 1995). Sept ans plus tard, ce même chiffre a été évalué à 7.5 milliards de dollars (Peyron, 2000).

Dans ce domaine (plantes à intérêt médical), il y a lieu de différencier des filières bien distinctes.

### 2.1.1. *Plantes intéressantes la médecine allopathique classique*

Il s'agit d'espèces végétales utilisées pour la production de molécules définies recherchées par l'industrie pharmaceutique moderne. Les exemples sont nombreux: le pavot, l'ergot du seigle, la digitale,...

Parmi les productions déjà réalisées au Maroc, on peut rattacher à cette classe, l'*Ammi visnaga* utilisée pour l'extraction de la khelline (produit utilisé dans diverses préparations pharmaceutiques pour le traitement de l'angine de poitrine, de l'asthme bronchique et de la coqueluche), le colchique utilisé pour l'extraction de la colchicine (anti-inflammatoire bien connu) et le petit houx.

Le problème fondamental pour les industriels utilisateurs de ce type de produits est la sécurité d'approvisionnement. C'est une contrainte stratégique. Pour les fournisseurs de ces produits, les clefs de la réussite peuvent être résumées en trois éléments:

- La qualité du produit (pureté).
- La compétitivité des prix. Elle dépend des efforts consentis pour l'intensification des techniques culturales, la sélection de clones et variétés adéquats, l'amélioration des technologies mises en œuvre pour l'extraction et la purification des substances actives.
- La confiance créée auprès de l'utilisateur (qualité, régularité de l'offre et des prix).

Notons que dans ce domaine (production allopathique), le label «NATUREL» n'a aucune importance. La synthèse est donc le concurrent le plus redoutable.

Aujourd'hui, ce segment du secteur est généralement approvisionné par des producteurs bien organisés spécialisés dans le domaine de grandes cultures. Mais il y a toujours de la place à prendre pour:

- De nouveaux producteurs qui prennent le soin et la patience nécessaires pour convaincre et sécuriser les utilisateurs.
- Des productions en cueillettes tant que les peuplements naturels sont suffisants pour garantir une régularité de l'offre et des prix qui découragent la mise en culture. Le colchique et le petit houx sont des exemples de ces types de produits réalisés au Maroc et exportés à l'état brut, sous forme de matériel végétal.

### ***2.1.2. Plantes intéressant la phytothérapie***

Dans ce cas, la plante est utilisée sous forme de «totem». Il n'y a pas d'extraction de molécules particulières au préalable. Les formes d'absorption peuvent être différentes: extrait aqueux ou alcoolique, poudre,... C'est une forme de médecine qui est ancienne, mais qui persiste et se développe pour deux raisons essentielles:

- La survivance de l'herboristerie traditionnelle (sirop, élixir, mélanges de plantes en infusion,...).
- Le renouveau de la phytothérapie dû à deux phénomènes de la civilisation moderne à savoir le NATUREL et la MÉDECINE DOUCE. Ce renouveau a donné lieu à deux circuits commerciaux modernes bien distincts: un circuit court, relativement simple, et un circuit long plus complexe.

Le premier circuit comporte le producteur (Production agricole + traitement technologique + conditionnement), le distributeur spécialisé (vente par correspondance, boutique de diététique,...) et le consommateur. Dans ce cas de figure, le producteur fournit plusieurs produits à la fois à des tonnages relativement limités (pour chaque produit).

Le deuxième circuit est également appelé «circuit pharmaceutique». L'industrie pharmaceutique moderne, ayant saisi l'importance économique que prend la médication par les plantes a cherché à profiter de ce renouveau pour moderniser la phytothérapie classique. On a ainsi vu naître à partir des «totem» des plantes médicinales des gélules, des extraits titrés, des nébulisats ( infusions ou décoctions de plantes déshydratées), des suspensions hydro-alcooliques de plantes ou parties de plantes broyées à froid, etc. Ce type de formules intéresse d'autant plus l'industrie pharmaceutique que la procédure de mise sur le marché est de loin plus simple. En France par exemple, 112 plantes ou formules réalisées à partir de ces plantes ont vu leurs AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) allégées (ONIPAM, 1995). Pour répondre à cette demande, de nouvelles cultures et des techniques nouvelles de séchage, de triage, de coupe, etc. ont été développées.

Le circuit court demande une large gamme de produits. Ceci exige une très bonne organisation avec souvent des groupements de producteurs. Les principaux fournisseurs de ce marché sont certains

pays de l'Europe de l'Est ainsi que certains pays développés comme la France, l'Australie,... La cueillette fournit toujours une partie de ce marché. L'annexe 1 donne, à titre d'exemple, une idée sur la diversité des plantes que le Maroc exporte, à l'état brut, pour les besoins de ce secteur. Le Maroc a une position forte pour deux produits: la mauve et la fumeterre.

Le marché des phytomédicaments en Europe est dominé par l'Allemagne (environ 1140 millions de \$). L'Espagne occupe la deuxième position (200 millions de \$). Viennent ensuite la France (87 millions de \$), le Royaume Uni (65 millions de \$), l'Italie (55 millions de \$),...

## **2.2. Plantes à intérêt aromatique**

Il s'agit de plantes qui sont recherchées pour leurs qualités aromatiques (aromatisation alimentaire, aromatisation de produits pharmaceutiques). Dans ce domaine, le marché mondial est totalement ouvert. La seule restriction possible concerne le respect des normes de qualité et d'hygiène de plus en plus sévères. Comme dans le cas précédent (§ 2.1.2), on peut distinguer, selon le type de marché visé, deux filières distinctes dans ce segment du secteur: les produits destinés directement aux consommateurs et ceux qui sont destinés aux industries de transformation.

### **2.2.1. Produits destinés directement aux consommateurs**

Plusieurs formules d'aromatisants sont aujourd'hui proposées au consommateur directement, à partir d'épices et de plantes aromatiques. Trois techniques sont largement utilisées pour la confection et la présentation de ces formules.

#### **2.2.1.1. Plantes séchées (PS)**

La forme «sèche» reste, dans l'herboristerie moderne, la forme la plus largement utilisée. Un large éventail d'assortiments d'épices et aromates en flaconnage destinés, directement, aux consommateurs existe déjà sur le marché. Ces flaconnages peuvent comporter des aromates individuels ou des mélanges de plantes condimentaires. Les plantes à infusion (tilleul, menthe, verveine,...) sont de moins en moins consommées pour leurs propriétés médicinales. Elles sont

devenues des boissons aromatiques d'agrément. Cette tendance a été renforcée par l'apparition récente de mélanges de plantes renforcés par des arômes, fruités en général, sous forme d'infusettes.

Une partie des besoins du marché international est encore assurée par la cueillette. Les exportations marocaines proposent, dans ce domaine, plusieurs produits dont le thym, le tilleul, le laurier, l'origan, le romarin,... Toutefois, la culture prend de plus en plus de l'importance. Au Maroc, par exemple, celle-ci concerne le persil, l'estragon, la menthe, la verveine,... Ailleurs, on cultive, aujourd'hui, même des plantes produites habituellement par cueillette comme le thym, le romarin,...

#### 2.2.1.2. Formes fraîches et surgelées

Une grande tradition d'utilisation des plantes à l'état frais comme aromatisant a toujours existé et existe toujours: ciboulette, persil, menthe.. Pour profiter de ces opportunités, les Israéliens ont mis, ces derniers temps, sur le marché international, des plantes aromatiques commercialisées à l'état vivant, dans des pots. Ils ont également développé une excellente organisation commerciale, pour fournir chaque jour des marchés européens en aromates frais. Le Maroc, pour sa part, semble réussir ces dernières années (1999 à 2003) une bonne pénétration du marché international avec la menthe verte (*Mentha viridis* L.) à l'état frais. La réussite dans ce domaine passe avant tout par l'excellence de l'organisation permettant une livraison régulière et une chaîne de froid de grande qualité.

Depuis déjà plusieurs années, on a proposé en remplacement du frais, des produits surgelés. Au départ, cette forme de présentation s'adressait essentiellement au secteur industriel. Mais aujourd'hui, on assiste à une mise sur le marché de formes qui s'adressent directement au consommateur individuel. C'est un marché qui se développe très bien, mais qui demande beaucoup de technicité.

#### 2.2.1.3. Formes déshydratées

Les utilisateurs de ces formes de produits aromatisants sont très exigeants sur la qualité visuelle du produit. «La couleur doit être d'un vert sombre sans taches ni feuilles jaunes, coupe régulière» (Peyron, 2000). La réalisation de ce type de produits demande de

gros investissements dans des fours de déshydratation ainsi que l'adoption de techniques culturales intensives et modernes.

### ***2.2.2. Plantes destinées à l'industrie de transformation***

L'utilisation des plantes aromatiques et de leurs extraits dans les industries agricoles et alimentaires a connu une forte croissance depuis une vingtaine d'années. Plusieurs raisons expliquent cette situation:

- La demande du consommateur pour les arômes naturels appuyée par une législation qui oblige le fabricant à déclarer sur son emballage le caractère naturel ou non des arômes utilisés.
- Le développement de préparations industrielles pour lesquelles la technologie induit une perte de goût que l'industriel cherche à compenser par une aromatisation appropriée.
- L'apparition de gammes de produits allégés en cholestérol (faible teneur en matière grasse), en sel, en sucre qui demandent une aromatisation adéquate pour qu'ils soient consommables.
- L'importance de l'aromatisation dans la conception et la réalisation de produits agroalimentaires nouveaux (boissons, desserts,...).
- L'importance croissante de l'industrie des plats cuisinés est une autre raison de la croissance de la demande industrielle en aromatisants naturels.

Les domaines d'utilisation de ces aromates et de leurs extraits sont divers. Citons à titre d'exemple:

- Les produits laitiers. Ce secteur utilise beaucoup d'arômes de fruits (pêche, abricot, fraise..) pour les desserts (yaourts, crèmes glacées) et des plantes fraîches ou déshydratées pour les fromages. Dans ce cas, la qualité bactériologique est fondamentale.
- Les boissons non alcoolisées (agrumes et menthe en premier lieu).
- Les boissons alcoolisées. Ce secteur utilise également de nombreuses espèces aromatiques (fenouil, anis, badiane, absinthe,...). C'est le cas en particulier des vermouths et des apéritifs anisés.
- Les plats cuisinés utilisent les plantes aromatiques sous toutes ses formes. Les oléorésines et les huiles essentielles sont utilisées lorsqu'on cherche surtout un arôme standardisé. Les formes séchées, fraîches ou surgelées sont intéressantes lorsqu'on cherche à visualiser la plante aromatique,...
- La charcuterie, les sauces, les vinaigres, les moutardes sont également des utilisateurs d'arômes.

- La confiserie et l'industrie de tabac utilisent également de nombreux extraits à des fins aromatiques (essence de menthe, de sauge, de girofle, entre autres).

### **2.3. Plantes à parfum**

L'industrie de la parfumerie et de la cosmétique utilise des extraits de plantes, en plus des produits de synthèse pour réaliser les formules recherchées. Il s'agit d'un secteur qui consomme beaucoup d'huiles essentielles. Le Maroc produit un certain nombre d'essences destinées à ce marché: romarin, armoise, menthe pouliot, myrte,... Ces produits sont tous réalisés à partir des plantes spontanées. Il existe également certaines productions faites à partir de plantes de culture: divers citrus, rose, jasmin et géranium (en grandes difficultés depuis plusieurs années).

En parfumerie, on peut considérer trois domaines distincts: la parfumerie industrielle (détergents), la cosmétique et la parfumerie de bas de gamme et la parfumerie de haut de gamme.

#### **2.3.1. Parfumerie industrielle (détergents)**

Ce secteur est un gros consommateur de compositions parfumantes, mais il n'autorise pas des coûts élevés. On utilise donc soit des produits de synthèse, soit des produits qui sont restés compétitifs comme le lavandin, le romarin,... Le label naturel est rarement un argument commercial pour ce type de produit. Toutefois, des déodorants d'ambiance ont été récemment formulés à partir d'huiles essentielles pour intégrer la notion de désinfection.

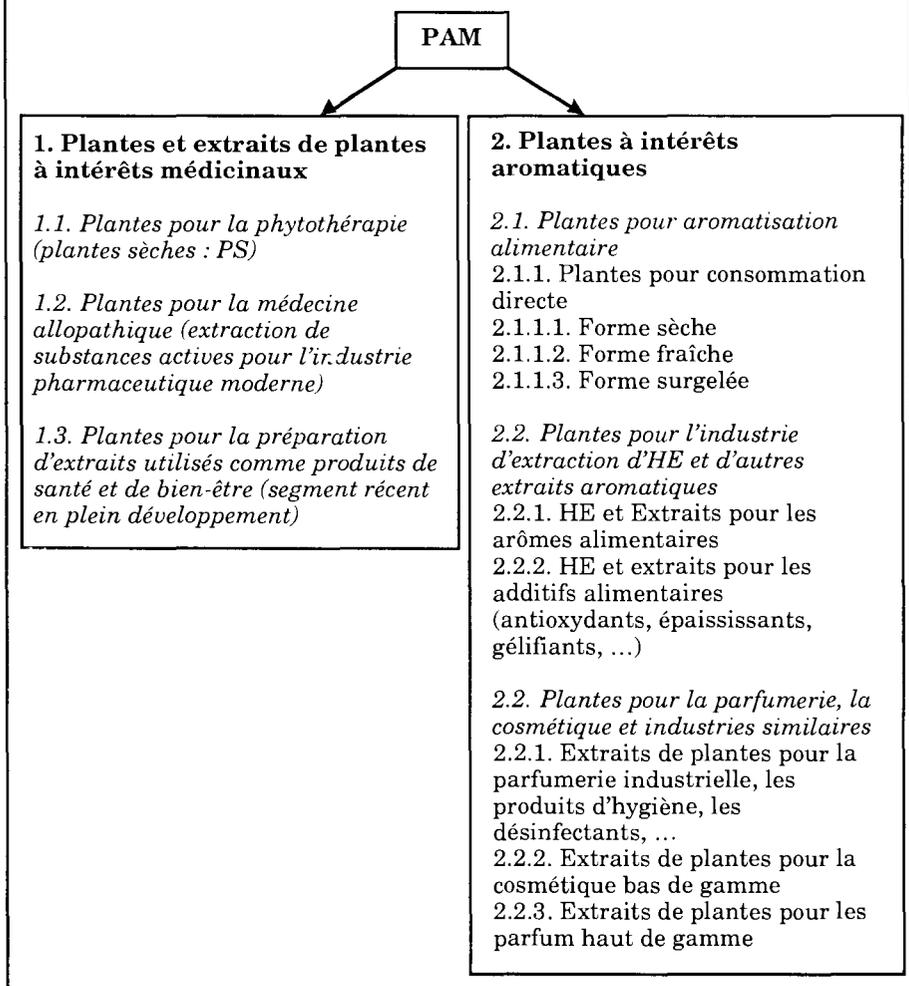
#### **2.3.2. Cosmétique et parfumerie bas de gamme**

Une large gamme de formules parfumantes est utilisée pour la confection de produits de soins corporels: gels de bain, savons, shampooings, lotions, crèmes,... La part des produits naturels dans ces formules est variable. Le prix de la matière première (l'huile essentielle par exemple) est une contrainte majeure d'autant plus que, dans ce secteur comme dans le précédent, le label «naturel» n'est pas un élément de vente auprès du consommateur.

### 2.3.3. Parfumerie alcoolique (parfums haut de gamme)

Ce type de produits contient une part importante d'huiles essentielles et d'autres extraits d'origine végétale, mais ce secteur connaît une conjoncture difficile. La concurrence des produits de synthèse est importante. Le consommateur n'est pas sensible au caractère naturel d'un parfum comme il l'est dans le cas des arômes. La concurrence internationale est de plus en plus rude avec de nombreux producteurs (Encadré 1).

#### Encadré 1. Classification des plantes incluses dans le secteur des PAM (selon les domaines d'utilisation)



### 3. CONTEXTE ACTUEL DU MARCHÉ INTERNATIONAL

Depuis les années 80, on assiste à un regain d'intérêt pour la culture des PAM aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. Dans les pays industrialisés, on s'intéresse aux PAM comme cultures de substitution à une agriculture moderne intensive souffrant de la surproduction à l'échelle mondiale (céréales par exemple). Ce type d'agriculture est souvent considéré comme une agriculture bien adaptée à des régions défavorisées (régions montagneuses par exemple) (Encadré 2). Dans les pays en voie de développement, la culture des PAM est perçue comme un moyen de diversification de l'activité agricole. Elle est aussi considérée comme une activité fortement intéressante pour les régions défavorisées grâce aux opportunités d'emplois qu'elle offre (Encadré 3).

#### Encadré 2. Culture des PAM sur des sols défavorables

Dans la région de Granada, des études ont été entreprises, depuis 1962, par l'INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) pour trouver des cultures permettant la mise en valeur de terrains franchement défavorables : sols très pauvres, calcaires, peu profonds avec une capacité de rétention d'eau très faible qui aggrave les conséquences d'une pluviométrie médiocre. Dans de telles conditions, les habitants locaux se contentaient, traditionnellement, de certaines cultures dont la productivité restait particulièrement basse. Parmi ces cultures, on trouvait l'orge dont les rendements moyens ne dépassaient pas 10 quintaux à l'hectare.

L'introduction de la culture de lavande, dans la région, a permis de multiplier la rentabilité de ces terrains par 8 (Gaviña Mugica & Torner Ochoa, 1974).

#### Encadré 3. Importance socio-économique du secteur des PAM

Exemple: Le romarin au Maroc

1. Le Maroc produit en moyenne 60 t d'HE de romarin par an. Les rendements moyens de distillation peuvent être estimés à 5 kg d'HE par tonne de végétal traité. Dans les conditions marocaines (voir chapitre 10), la production de 60 t d'HE représente ainsi le traitement de 12.000 tonnes de matériel végétal.
2. Les exportations marocaines de romarin sous forme de feuilles séchées sont de 2100 t environ par an (Moyenne de quatre campagnes : 1999-2000 à 2002-2003) (EACCE). Cela représente l'équivalent de 10.000 t de matériel végétal brut à la récolte. Le rapport entre le produit fini et la biomasse végétale brute est d'environ 22% dans les peuplements naturels (notre propre enquête au Maroc) et 25% pour des plantations artificielles (Iteipmai, 1991).

3. Au total, cette activité permet la mise en valeur industrielle de 22.000 t de biomasse végétale du romarin, à la récolte.
4. Cette récolte représente la valeur de  $22.000 \times (150 \text{ à } 200 \text{ dh}) = 3.300.000 \text{ à } 4.400.000 \text{ dh/an}$ . L'injection, chaque année, de cette somme d'argent dans un milieu rural défavorisé économiquement (cas des hauts plateaux de l'Oriental marocain où pousse le romarin) constitue une opportunité, particulièrement intéressante, pour les populations concernées.
5. La somme précédente représente, à la valeur du SMAG (salaire minimum en agriculture) en vigueur au Maroc en 2004, l'équivalent de 66.000 à 88.000 journées de travail. Ce sont des données qui ne peuvent être que fortement appréciées dans des régions défavorisées souffrant de sous-emploi chronique.
6. Une personne peut collecter, dans les conditions des peuplements naturels, 400 kg environ de végétal par jour (Muñoz, 1987). Notre propre enquête, dans l'Oriental marocain, a confirmé ce résultat (400 à 450 kg par jour et par personne). Cela représente pour le paysan une recette journalière de 60 à 90 dh par jour, soit 120 à 180% le SMAG.
7. Selon la même enquête précédente (§ 6), dans la zone d'exploitation du romarin au Maroc (région de l'Oriental), la récolte du romarin est la principale activité pour au moins la moitié de la population, en dehors de la période des moissons.
8. Dans cette évaluation on n'a tenu compte que de la récolte de la biomasse végétale. Or, cette activité offre d'autres opportunités de travail : transport, distillation, séchage et nettoyage pour la production de feuilles, ...

### **3.1. Productions mondiales des principales huiles essentielles**

Les productions mondiales des huiles essentielles (HE), en valeurs, varient d'un produit à un autre. Certains produits sont réalisés au Maroc. D'autres peuvent l'être sans grandes difficultés (Tableau 1).

### **3.2. Producteurs d'huiles essentielles dans le monde**

Plus de la moitié de la production mondiale est aujourd'hui assurée par des pays en voie de développement (PVD). Beaucoup d'espèces autrefois exploitées dans les pays développés se sont, aujourd'hui, déplacées vers les pays à faible coût de main-d'œuvre. Mais ce n'est pas évident que le coût de la main-d'œuvre soit toujours décisif. Les pays industrialisés restent encore bien présents sur le marché. Ils sont même leaders chaque fois qu'une amélioration technologique permet de compenser l'avantage comparatif des PVD lié au coût de main-d'œuvre.

Globalement, on peut, de nos jours, distinguer quatre catégories de pays producteurs:

- Les PVD soutenus par un grand marché intérieur: la Chine, l'Inde et l'Indonésie. Ce sont des grands producteurs qui profitent d'espaces importants, d'une main-d'œuvre bon marché, d'un potentiel de consommation de marché intérieur important et depuis quelques années d'une activité de recherche-développement très dynamique. Ainsi, l'Inde est devenue aujourd'hui leader mondial dans la production du jasmin. La Chine est devenue un concurrent redoutable pour de nombreux produits (eucalyptus, géranium,...) même si la qualité laisse souvent à désirer. Grâce à une activité de recherche-développement dynamique, des produits typiquement méditerranéens, comme l'origan, le basilic,... font leur apparition en Inde par exemple. Toutefois, il faut signaler que si ces pays sont de gros producteurs, ils sont aussi de gros consommateurs. Cette réalité les conduit parfois à perdre une partie de leur propre marché au niveau international (cas du gingembre pour l'Inde par exemple).
- Les PVD tournés totalement vers l'exportation. Dans le cas du Maroc par exemple, toute la production est exportée et toute sa consommation est importée. Ces pays profitent souvent d'une main-d'œuvre peu coûteuse et d'une végétation spontanée parfois abondante, mais ils traînent, souvent, un grand handicap au niveau technologique, scientifique et d'organisation.
- Les pays de l'Europe de l'Est. Traditionnellement, ces pays étaient grands producteurs de PAM. Ils ont profité pendant des années et ils profitent encore d'un important effort de recherche. Aujourd'hui, cette production est déstabilisée à cause des événements politiques de la dernière décennie dans la région. Mais il n'est pas impossible que la production de ces pays retrouve, dans les années à venir, un élan proportionnel à leur histoire et tradition, d'une part, et au dynamisme de leurs centres de recherche, d'autre part. Toutefois, cette «renaissance», lorsqu'elle aura lieu, elle se fera très probablement dans des conditions différentes. Elle se ferait certainement dans des pays développés avec des coûts de main-d'œuvre élevés et surtout une population rurale qui se raréfie. Aujourd'hui, ces pays offrent toujours une gamme d'huiles essentielles assez variée, produite à partir des plantes de cueillette ou de culture, mais avec beaucoup de fluctuation tant en qualité qu'en quantité.

**Tableau 1. Productions mondiales des huiles essentielles par ordre de chiffres d'affaires décroissants**

Estimations de l'ONIPAM (1995) adaptées aux données marocaines

Valeur estimée de la production supérieure à 20 millions (M) de \$ par produit

Citron*	Menthe poivrée**	Menthe arvensis
Menthe crépue**	Orange	Rose*

Valeur estimée de la production comprise entre 10 et 20 M de \$ par produit

Cèdre (Amérique du Nord)		
Citronnelle	Eucalyptus (à cinéole)	
Jasmin*	Lavandin	<i>Litsea cubeba</i>
Patchouli	Santal	Vétiver

Valeur estimée de la production comprise entre 5 et 10 M de \$ par produit

Bergamote**	Coriandre*	Géranium*
Girofle	Lavande*	Lime**
Ylangue ylangue		

Valeur estimée de la production comprise entre 1 et 5 M de \$ par produit

Ail (?)***	Amyris	Aneth (herbe)*
Anis*	Badiane	Basilic
Bois de rose	Camomille bleue*	Camomille romaine**
Camphre	Cananga	Cannelle (Chine)
Cannelle	Cascarilla	Thym*
Céleri*	Copaiba	Estragon*
<i>Eucalyptus citriodora</i> *	Fenouil*	Genièvre
Gingembre	Girofle	Lemongrass**
Livèche*	Mandarine*	Marjolaine**
Muscade olibanum	Néroli*	Oignon (?)***
Petit grain*	Palmaroza	Pamplemousse*
Sasafras	Piment (feuille)**	Romarin*
Tangérine**	Sauge*	Sauge sclarée*

Notes relatives au tableau 1:

Il existe des dizaines d'autres HE non incluses dans ce tableau étant donné les volumes échangés au niveau du marché international (relativement peu importants).

\*: Produits déjà distillés au Maroc ou production de biomasse existante à des fins commerciales.

\*\* : Produits dont l'introduction de culture à l'échelle industrielle est parfaitement réalisable au Maroc.

(?)\*\*\*: Produits dont la culture existe déjà au Maroc, mais dont la distillation pose des problèmes techniques et d'organisation.

Les pays industrialisés gardent encore une position forte dans la production d'HE. Environ le tiers de la production mondiale en huiles essentielles vient de pays industrialisés. Ces pays tirent profit d'une agriculture intensive, mécanisée soutenue par une excellente activité de recherche-développement. Cette dernière est dynamisée par les pouvoirs publics, les organisations professionnelles et le secteur industriel. La culture des PAM dans ces pays est encouragée comme moyen de reconversion de certains espaces agricoles pour réduire des productions excédentaires et surtout comme activité agricole adaptée à des régions de montagnes défavorisées.

À titre d'exemples, les tableaux 2 & 3 donnent les productions françaises dans les domaines des PAM classées par chiffre d'affaires et par surfaces cultivées (Encadré 4).

**Tableau 2. Principales productions françaises de PAM cultivées ou cueillies par ordre de chiffres d'affaires (CA) décroissants**

Estimations de l'ONIPAM (1995) adaptées aux données marocaines

Espèces dont le CA est supérieur à 10 millions de FF (ordre alphabétique)		
Éstragon*	Lavande	Pavot œillette
Gentiane	Lavandin*	Persil* déshydraté
Ginkgo bibola	Myrtille	
Espèces dont le CA est compris entre 1 et 10 millions de FF (ordre alphabétique)		
Aneth*	Cyprès	Passiflore
Angélique	Églantier*	Pastel**
Artichaut* (feuilles)	Fenouil amer**	Petit houx*
Badiane	Fenouil doux*	Psyllium
Basilic*	Hysope	Raifort
Bourrache	Jasmin*	Romarin*
Camomille matricaire*	Livèche	Rose de mai
Camomille romaine*	Mélilot	Sauge officinale*
Cassis	Mélicite	Thym*
Cerfeuil	Menthe*	Tilleul*
Ciboulette*	Mousse d'arbre*	Valériane
Ciste**	Narcisse	Verveine*
Coriandre*	Origan*	Violette*
Espèces dont le CA est inférieur à 1 million de FF (ordre alphabétique)		
Anis vert*	Ficaire	Bigaradier*
Armoise	Fumeterre*	Pensée sauvage
Absinthe grande**	Génépi	Piloselle
Absinthe petite**	Grindelia	Pissenlit (racine)
Ballote fétide	Guimauve**	Poireau*
Belladone*	Hamamélis	Prêle**

Bleuet	Ispaghul	Radis noir**
Bouillon blanc	Lamier	Réglisse**
Calendula**	Laurier*	Reine des prés**
Capucine	Marjolaine**	Safran*
Chardon marie	Marron d'Inde	Santoline
Colchique*	Marrube*	Saponaire*
Cynara	Mauve*	Sarriette**
Digitale laineuse	Mille feuille	Serpolet
Ergot de seigle	Millepertuis**	Sisymbre
Eschscholtzia	Mimosa*	Véronique
Frêne (feuilles)	Monarde	Vigne rouge*

\*: Produits déjà distillés au Maroc ou production de biomasse existant à des fins commerciales

\*\* : Produits dont l'introduction de culture à l'échelle industrielle est réalisable au Maroc

### Tableau 3. Principales productions françaises de PAM cultivées, par ordre de surfaces décroissantes

Estimations de l'ONIPAM (1995) adaptées aux données marocaines

Espèces cultivées sur plus de 10.000 ha

Lavandin\*\*

Espèces cultivées sur des superficies allant de 1.000 à 5.000 ha

Pavot œillette                      Lavande\*                      Sauge sclarée\*

Espèces cultivées sur des superficies allant de 100 à 1.000 ha (par espèce)

Estragon\*                      Thym\*                      Persil\*

Fenouil amer\*\*                      Hysope                      Psyllium

Ginkgo biloba

Espèces cultivées sur des superficies allant de 10 à 100 ha (par espèce)

Absinthe\*\*                      Cerfeuil                      Menthe poivrée\*\*

Aneth\*\*                      Ciboulette\*\*                      Passiflore

Angélique                      Coriandre\* (graines)                      Pastel\*\*

Anis vert\*                      Ergot de seigle                      Raifort

Artichaut\*                      Fenouil doux\*                      Romarin\*

Bardane                      Fenugrec\*                      Rose de mai

Basilic\*                      Gentiane                      Sarriette\*\*

Bourrache\*\*                      Livèche                      Sauge officinale\*

Camomille matricaire\*                      Mélilot                      Verveine\*

Camomille romaine\*                      Mélisse

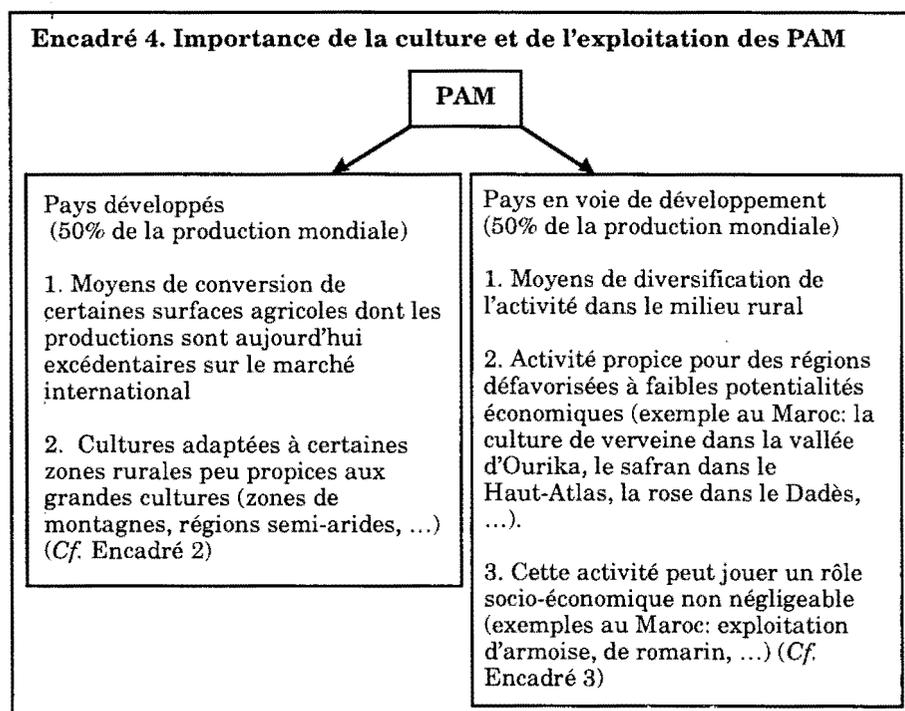
Cassis                      Menthe douce

Espèces cultivées sur des superficies de moins de 10 ha (par espèce)

Armoise	Hamamélis	Reine des prés
Bleuet	Jasmin*	Safran*
Calendula**	Marjolaine**	Santoline
Ciste**	Mauve*	Saponaire*
Eschscholtzia	Bigaradier*	Valériane
Ginseng	Origan*	Vigne rouge*
Grindelia	Piloselle	Violette*
Guimauve**	Pissenlit	Divers

\*: Produits déjà distillés au Maroc ou production de biomasse existant à des fins commerciales

\*\* : Produits dont l'introduction de culture à l'échelle industrielle est réalisable au Maroc



### 3.3. Concurrence internationale

Le secteur des PAM est d'un poids économique relativement faible par comparaison à d'autres grandes productions agricoles. De ce fait, il s'agit d'un secteur particulièrement sensible aux aléas du commerce international. Une production donnée peut être facilement

déstabilisée par l'arrivée imprévue, sur le marché, d'un nouveau producteur. Le risque est particulièrement grand lorsque le nouveau producteur arrive en dehors de tout groupe organisé (Peyron, 2000).

Cette situation est d'autant plus vraie que les marchés actuels sont de plus en plus ouverts. La concurrence est rude. Ce n'est plus le secret qui est le facteur déterminant pour la réussite dans le secteur. Le secret autrefois important est aujourd'hui remplacé par la confiance et la compétitivité.

La confiance à créer auprès du client exige: (i) une régularité de la qualité et de l'offre, (ii) une organisation efficace, (iii) une compétence technique et scientifique sans failles et (iv) un sérieux dans les relations commerciales.

La compétitivité est la deuxième clé de la réussite. Le secteur des PAM est aujourd'hui un secteur industriel comme les autres. Il a horreur de la spéculation. La compétitivité est conditionnée par trois éléments essentiels:

- Les coûts de productions qui sont très complexes. Ils dépendent du rendement en produit commercialisable (huile essentielle par exemple) lequel est fonction des conditions du milieu et de la technicité mise en œuvre pour la production (sélection, techniques culturales, technologie d'extraction et de séchage,...).
- La qualité du produit fini qui est fonction des conditions de productions plus ou moins maîtrisables et du savoir-faire du producteur.
- La qualité des relations commerciales (contact avec le client, présence scientifique et technique sur le marché international,...).
- La capacité d'écoute et de perception des tendances dans un marché en perpétuelle évolution et la rapidité d'adaptation.

En général, les pays industrialisés sont avantagés à chaque fois qu'il y a sélection, possibilité de mécanisation et possibilité de culture sur des grandes surfaces.

Les PVD peuvent tirer profit:

- Des conditions écologiques particulières. Le Maroc a mis sur le marché un produit dit «camomille sauvage du Maroc». Il s'agit d'*Ormenis mixta* Var. *multicaulis*, sous-espèce endémique du Maroc, abondante dans le Gharb à l'état spontané. C'est un bon

produit, typiquement marocain, mais qui court un grand danger. Il y a un risque de raréfaction des peuplements naturels. La mise en culture serait une excellente démarche pour résoudre ce problème. Des fluctuations trop grandes aussi bien en ce qui concerne les prix que les tonnages offerts menacent le marché de ce produit. La mise en culture, encore une fois, permettrait de dépasser ce phénomène très préjudiciable à la survie du produit et à son développement. Un deuxième produit, «thym de Terguiste du Maroc» (appellation commerciale) ou *Origanum elongatum* Emb. Et Maire, est très intéressant pour les producteurs marocains. Il a une réputation mondiale du point de vue qualité, mais le Maroc n'a jamais pu constituer une offre régulière de ce produit. L'espèce est endémique du Maroc, mais sa mise en culture est le seul moyen de contourner les problèmes socio-économiques liés à sa mise en exploitation. Dans la région rifaine où abonde la plante, la population l'utilise pour l'apiculture et refuse sa mise en exploitation industrielle. L'origan du Maroc (*Origanum compactum*) est de très bonne qualité visuelle et aromatique. Ce produit peut être mieux valorisé par des travaux de sélection, d'amélioration technologique et de mise en culture.

- De l'existence d'espèces à l'état spontané en abondance. Dans le cas du Maroc, on peut citer plusieurs exemples de ce type: le romarin, l'armoise, le cèdre de l'Atlas, le myrte,... Pour développer et/ou maintenir une position de leader dans ces domaines, il faut un travail de fond tant sur le plan scientifique et technique que commercial pour décourager d'autres concurrents qui voudraient développer le même produit.
- De l'existence d'avantages comparatifs décisifs (plantes qui s'adaptent mal à la mécanisation par exemple).
- Des résultats de recherche-développement disponibles ou à commander. Au Maroc, il existe une bonne activité de recherche-développement spécialisée dans le domaine. Certains de ces résultats sont mis en exploitation (exemples: standardisation de la production d'huile essentielle d'armoise, mise au point d'un nouveau produit comme l'huile essentielle de la tanaïse, celle de l'*Ammi visnaga*,...), mais d'autres résultats sont encore à valoriser.

### 3.4. Marché et organisation industrielle

En Europe, les PAM ne sont pas concernées par l'organisation communautaire du marché. Les droits de douanes sont faibles ou

nulles dans la plupart des cas. Dans le domaine des HE, la France est le deuxième pays importateur après les États-Unis d'Amérique. Cette situation s'explique par le fait que la France réexporte une partie de ces importations à l'état brut, après standardisation éventuelle ou sous formes formulées pour parfums, cosmétiques, arômes,...

Le secteur des huiles essentielles, extraits aromatiques, parfums, arômes, ... est en plein bouleversement. Traditionnellement, le secteur était constitué d'un grand nombre d'unités relativement de petites tailles s'appuyant, entre autres, sur la tradition familiale ou régionale. La France, et particulièrement la région de Grasse, était la plaque tournante de cette activité à l'échelle mondiale.

Par ailleurs, il y a quelques années encore, l'organisation du secteur pouvait être décrite comme suit:

- production de matière première végétale
- premières transformations de la biomasse (extraction d'huile essentielle et de résinoïdes, séchage, nettoyage et conditionnement des plantes séchées)
- le courtage, commerce de gros et négoce
- deuxième transformation (extraction de produits purs, standardisation, ...)
- conception et préparation de formules,
- utilisation industrielle (IAA pour les arômes alimentaires, parfumerie, cosmétique, produits d'hygiène, ...)

Ces six étapes étaient souvent indépendantes l'une de l'autre. On pouvait avoir deux étapes ou même plusieurs prises en charge par une même unité. Mais en règle générale, on avait affaire à ces différentes phases plus ou moins individualisées et indépendantes. Il était ainsi difficile de court-circuiter une étape de la chaîne.

Les changements actuels portent sur trois éléments fondamentaux:

- Un grand mouvement d'internationalisation et de regroupement. Les petites unités industrielles sont remplacées par des grandes multinationales. Aujourd'hui, six entreprises se partagent plus de 50 % du chiffre d'affaires du secteur de la parfumerie à l'échelle mondiale qui est estimé à 9.5 milliards de dollars. Soient par ordre décroissant: IFF (USA), Givaudan-Roure (Suisse), Quest (Grande Bretagne), Harmen & Reimer (Allemagne), Firmenich (Suisse), Takasago (Japon).

- Grasse n'a plus le poids qu'elle avait avant, même si elle garde toujours une position importante.
- La chaîne fonctionnelle au niveau de la profession ainsi décrite est rompue. On assiste de plus en plus à des contrats entre l'utilisateur final et le producteur de biomasse végétale. Les deux contractants peuvent se trouver dans des pays différents.

Cette nouvelle situation a des conséquences très importantes sur la filière au niveau international:

- Les petits producteurs isolés et les entreprises qui ne font pas l'effort d'adaptation et d'innovation nécessaires, auront de plus en plus des difficultés à avoir droit au chapitre (nécessité d'organisation professionnelle par exemple). Toutefois, toute nouvelle entreprise a sa chance si elle fait l'effort qu'il faut pour marier le savoir-faire et la recherche-développement avec la maîtrise de la qualité et de l'innovation.
- La filière est devenue une véritable industrie par son organisation, ses exigences, sa technologie. Aujourd'hui, toute entreprise qui agit dans ce secteur doit tenir compte de cette réalité. Le secret, l'héritage (familial ou autre), les contacts particuliers en amont ou en aval de l'activité de l'entreprise,... ne sont plus des atouts suffisants pour la réussite.
- Les critères de qualité et de performances techniques et commerciales prennent un poids de plus en plus importants (Encadré 5).

#### 4. CONCLUSIONS

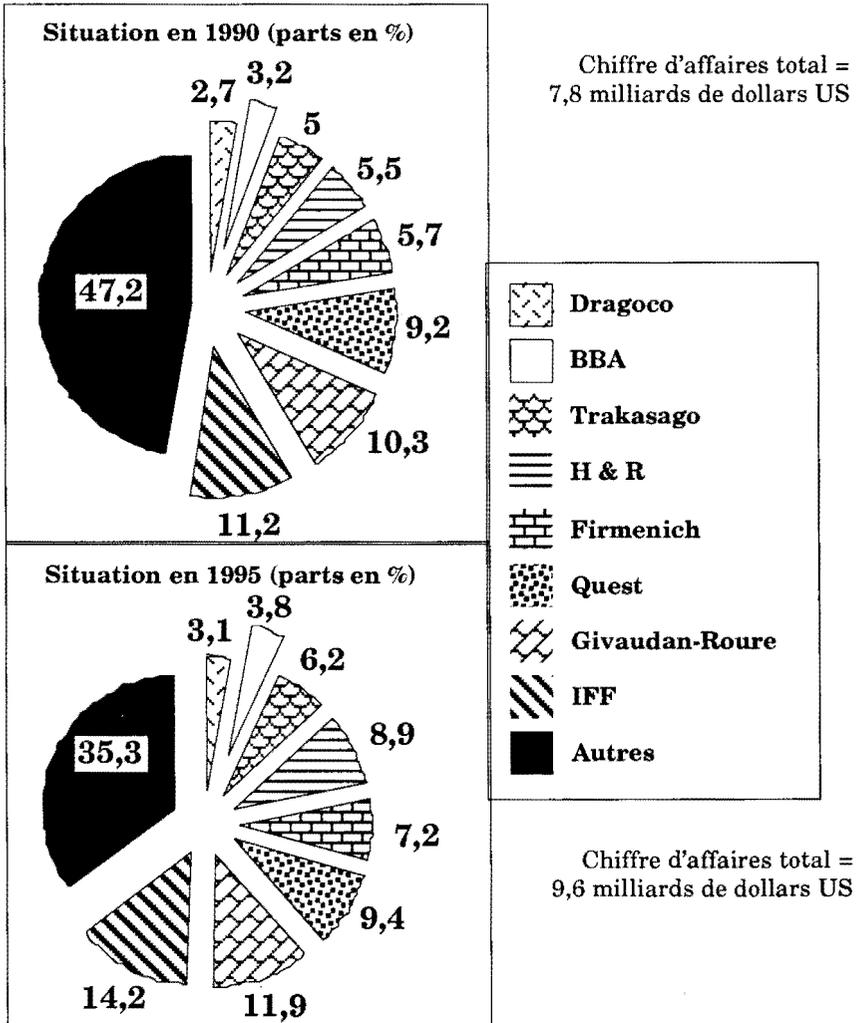
Au terme de cette analyse, on peut retenir trois conclusions essentielles.

Le secteur des PAM est particulièrement diversifié. Il est diversifié par ses produits et par ses clients (les utilisateurs des produits finaux) ainsi que par les matières premières utilisées et les technologies mises en œuvre. Il n'y a pas d'entreprise, même parmi les grandes multinationales, qui soit capable et/ou qui ait l'intérêt, de couvrir tout le secteur. Toute nouvelle entreprise doit tenir compte de cette réalité et choisir le(s) segment(s) du secteur dans le(s)quel(s) elle espère exceller. Pour ce faire, elle doit identifier les atouts et les avantages comparatifs réels dont elle dispose.

**Encadré 5. Évolution du marché international des PAM et dérivés, des parfums, cosmétiques, arômes et produits similaires**

Le marché visé concerne la production et la commercialisation des PAM et dérivés ainsi que leurs utilisations (fabrication de parfums, arômes, cosmétiques et d'autres produits similaires). Ce marché est, aujourd'hui, caractérisé, entre autres, par deux données essentielles:

- Développement continu
- Tendance à la concentration et à l'internationalisation



D'après Hartman (1995)

Le secteur des PAM est certes très ancien, mais il ne cesse d'innover et d'évoluer. L'innovation peut concerner la mise en valeur de nouvelles matières premières, l'élaboration de nouveaux produits, l'intéressement de nouveaux clients à un produit donné ou l'identification de nouvelles niches de marché. La prise en considération de ces données permet à toute entreprise (ancienne ou nouvellement créée), qui a l'ambition d'exceller dans le secteur, de faire le choix du (des) moteur(s) de cette excellence. La simple copie de ce qu'un voisin fait (ou de ce qu'un parent faisait) ne garantit nullement la réussite. Il ne faut surtout pas considérer le secteur des PAM comme un secteur relativement simple aussi bien techniquement que financièrement. Autrement dit, l'échec est quasiment garanti!

Le marché international des PAM est très ouvert et en pleine évolution (Encadré 6). La concurrence y est très forte. Cependant, toute entreprise dynamique qui associe le savoir-faire et la volonté d'innover à la capacité de saisir, au bon moment, les tendances du marché a de très bonnes chances pour réussir.

À titre d'exemple, le chapitre suivant décrit l'expérience marocaine dans le domaine d'exploitation des PAM. Cette analyse permettra de relever, dans un cas concret, les points forts et les points faibles, les atouts et les défis de cette expérience.

**Encadré 6. Principales caractéristiques du marché international des PAM et de leurs dérivés. Atouts et contraintes (cas des HE)**

On peut distinguer quatre situations différentes à l'échelle internationale:

1. Pays en voie de développement soutenus par un grand marché intérieur (Chine, Inde, Indonésie, ...)

Ces pays profitent, généralement:

- D'une main-d'œuvre bon marché
- D'une activité de recherche-développement dynamique
- D'un marché interne important

1. Pays en voie développement tournés essentiellement vers le marché international

Ces pays peuvent disposer de certains atouts:

- Main-d'œuvre souvent bon marché
- Biomasse végétale probablement abondante à l'état spontané

Ces mêmes pays sont confrontés souvent à des handicaps importants:

- La recherche développement est faible ou mal adaptée
- Le marché intérieur est faible. Ces pays sont donc tributaires du marché international

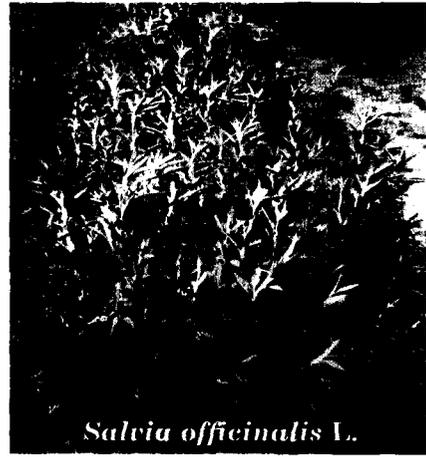
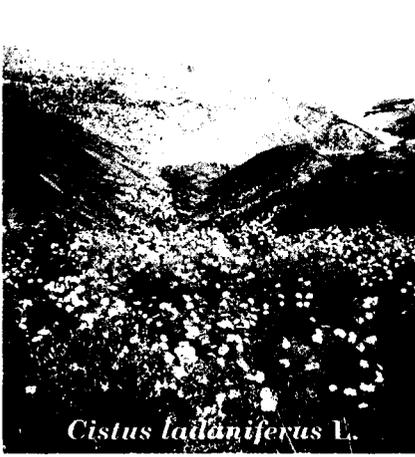
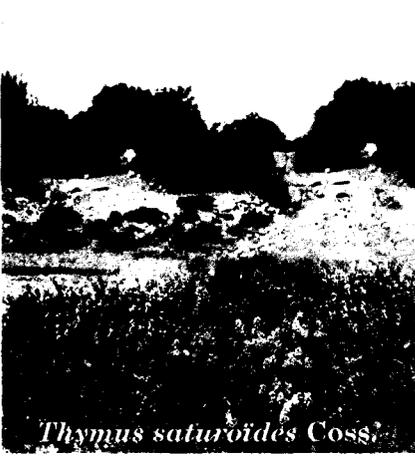
### 2. Pays de l'Europe de l'Est

- Ces pays ont développé par le passé une grande activité dans le secteur
- Cette production est actuellement déstabilisée
- Ces pays ont toujours disposé d'une activité de recherche développement très dynamique.
- L'activité de productions des PAM et leurs dérivés peut redémarrer, dans ces pays, dans un proche avenir, mais elle se fera dans de nouvelles conditions socio-économiques, surtout avec l'entrée dans l'UE de plusieurs de ces pays.

### 3. Pays développés

Ces pays produisent environ le tiers de la production mondiale en HE

Ces pays disposent d'avantages certains en ce qui concerne les améliorations technologiques apportées au secteur. Ils sont pratiquement toujours mieux placés pour les grandes productions hautement mécanisées.



## PRÉSENTATION D'UNE EXPÉRIENCE D'EXPLOITATION DES PAM

### 1. INTRODUCTION

Les principaux traits caractéristiques du secteur des PAM dans le monde, comme décrits dans le chapitre précédent, montrent qu'il s'agit d'un domaine industriel complexe et très diversifié. Ce secteur utilise des technologies de plus en plus sophistiquées et s'appuie sur une activité de recherche-développement dynamique. Il prend de plus en plus un caractère multinational.

Au Maroc, il existe une activité à caractère industriel, non négligeable, qui exploite des ressources naturelles à intérêts aromatiques et/ou médicinaux. Cette activité a démarré au courant des années 20, sous le protectorat par des maisons françaises (Cheris et Chauvet essentiellement). Au fil des années, cette activité n'a cessé d'évoluer.

Aussi, est-il intéressant de présenter, à titre d'exemple, la situation actuelle du secteur des PAM au Maroc, à travers les systèmes de production, la profession et son organisation, les réalisations de cette profession, etc. L'objectif de cette analyse est de relever les points forts et les difficultés du secteur au Maroc et d'en déduire les perspectives d'avenir.

Le cas particulier du Maroc peut être généralisé à de nombreux pays de même niveau de développement économique disposant d'une activité industrielle dans le domaine des PAM. Les remarques et conclusions qui découlent de cette analyse peuvent, donc, servir de «guideline» pour tous les pays en voie de développement qui projettent de démarrer des activités similaires.

## 2. SYSTÈMES DE PRODUCTION

L'analyse des systèmes de production des PAM au Maroc fait ressortir deux circuits distincts. L'un concerne les plantes de culture, l'autre est réservé aux plantes spontanées.

### 2.1. Produits de culture

Les systèmes de production des PAM cultivées au Maroc peuvent être décrits à partir de deux exemples qui sont largement représentatifs. Il s'agit de la verveine et de la coriandre.

#### 2.1.1. *Verveine et produits similaires*

Les producteurs procèdent à la culture et à l'entretien de la culture jusqu'à la récolte. Une fois la récolte réalisée, le paysan a plusieurs formules possibles:

- Il vend sa production, à l'état frais ou légèrement fané, à des intermédiaires locaux qui s'occupent du séchage, de la défeuillaison manuelle, puis du nettoyage et du conditionnement.
- Il peut s'occuper, lui-même, des opérations de séchage, défeuillaison et nettoyage avant d'écouler sa production, sur des marchés spécialisés comme à Ghmat (région de Marrakech) où des négociants de toutes les régions du pays (ou leurs représentants) viennent s'approvisionner.

Il n'est pas rare de trouver des paysans qui s'endettent auprès des intermédiaires locaux ou même des négociants et qui se trouvent obligés d'écouler leur production dans des conditions parfois désavantageuses.

Les intermédiaires locaux, qui peuvent être en même temps des producteurs, achètent la production auprès des paysans. Ils complètent éventuellement le travail de nettoyage, dépoussiérage et conditionnement avant de céder le produit fini au négociant qui s'occupera du négoce au niveau international.

Certains négociants achètent la production déjà prête à la commercialisation. Ils se limitent à chercher le marché (international) et procéder à l'exportation du produit. Ce type de négociants, dits négociants-exportateurs, est plutôt rare dans le marché des PAM au Maroc. D'autres négociants, appelés «négociants-

transformateurs», disposent eux-mêmes de leurs propres ateliers pour les travaux de nettoyage, tarage et conditionnement. Dans de rares cas, le négociant possède ses propres cultures soit directement, soit grâce à des contrats avec des paysans moyennant des avances financières. On appellera ces négociants (ou producteurs) des «négociants (ou producteurs) intégrés».

Les techniques culturales restent encore largement artisanales. Mais depuis quelques années on assiste au développement d'exploitations modernes dans les régions de Tadla, Marrakech, Souss et de Kénitra. Des études ont été réalisées à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et ont révélé qu'une meilleure maîtrise des techniques culturales pourrait améliorer grandement la rentabilité de ces cultures (Benjlali & Belanger, 1992; Djerari, 1992; Eddaouri, 1992).

Au Maroc, la récolte de la verveine se fait deux fois par an: fin juin-début juillet et fin septembre-début octobre. Le séchage se fait, dans la plupart des cas, à l'air libre parfois sur une dalle en béton pour minimiser le taux d'impuretés dans le produit fini. Les opérations de séchage, nettoyage et conditionnement doivent bénéficier d'une attention particulière car entre la verveine feuille entière ( qualité dite feuille à feuille) et la verveine standard, le prix varie plus que du simple au double.

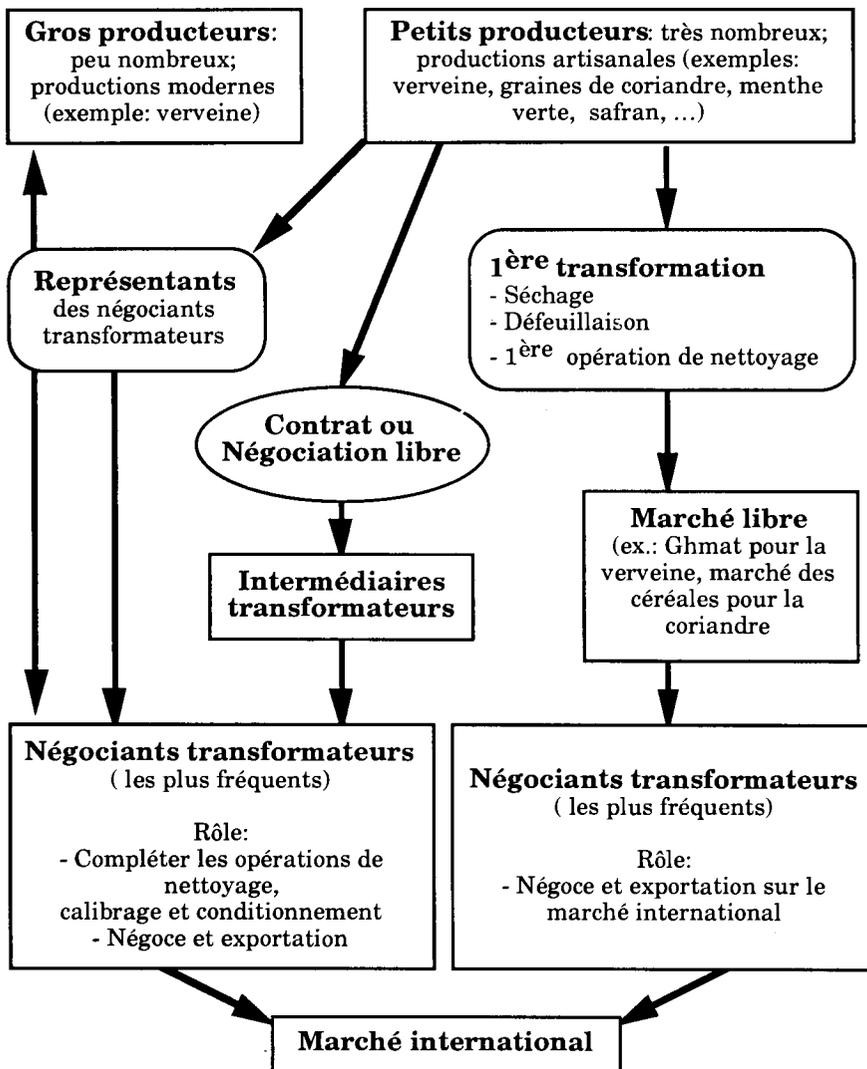
### **2.1.2. *Coriandre et produits similaires***

Ces produits (graines de coriandre, fenugrec et même, dans certaines mesures, le cumin et le carvi) ont un circuit qui se rapproche plus de celui des céréales. Le producteur organise la production et la récolte. Il commercialise son produit sur des marchés plus proches de ceux des céréales que de celui des PAM. Les négociants (ou les intermédiaires) sont souvent des personnes qui travaillent dans le commerce des céréales. Ce ne sont pas toujours des spécialistes des PAM.

Cette analyse fait ressortir la complexité et la diversité du système de production. Cette mosaïque des systèmes de production rend très difficile la diffusion des connaissances scientifiques et des innovations technologiques. D'autre part, dans une telle situation, toute tentative d'organisation de la profession restera toujours partielle et incomplète. Or, une bonne organisation de la profession

peut constituer un excellent levier multiplicateur pour la diffusion de l'information scientifique, technique ou autre (Encadré 7).

### Encadré 7. Système de production des PAM de culture au Maroc



Remarque: la complexité du système de production et son hétérogénéité rendent difficile sa modernisation (voir Encadré 8).

## 2.2. Produits spontanés

Trois catégories de plantes spontanées peuvent être distinguées:

- Les plantes poussant dans le domaine forestier comme le romarin et le myrte. Pour exploiter ces plantes, il faut disposer d'une autorisation délivrée par l'autorité publique chargée des eaux et forêts, soit après un marché soit par entente directe. Dans les deux cas, le bénéficiaire doit payer une redevance à l'État. Pour être autorisé à soumissionner à un marché pour l'exploitation des PAM, il faut être un professionnel du secteur. Les attestations de ce type sont délivrées par l'autorité gouvernementale chargée des eaux et forêts.
- Les plantes poussant sur les terrains des collectivités locales. L'exploitation de cette ressource est soumise aux mêmes exigences et à la même démarche. La seule différence réside dans le ministère de tutelle. Dans ce cas, le ministère de l'intérieur, direction des terres collectives, s'occupe de la mise en adjudication des lots à exploiter. Tel est le cas de l'armoise blanche par exemple. Le système d'adjudication, tel qu'il est organisé aujourd'hui, est un handicap sérieux pour la maîtrise et le développement de la profession. Il menace la survie de certains peuplements et porte préjudice à la sauvegarde de certaines espèces. Il ne facilite nullement l'engagement des producteurs, sur le long terme, vis-à-vis de leurs clients.
- Les plantes qui poussent sur les terrains privés comme la menthe pouliot, l'origan, la tanaïse annuelle, l'orménis, etc. En général, dans ce cas, la récolte est réalisée par les populations locales sans procédures administratives particulières. Cette pratique (récolte sauvage des espèces spontanées) peut affecter la pérennité de certaines espèces particulièrement fragiles. L'orménis (*Ormenis mixta* ssp. *multicaulis* (L.) Dumt) est un excellent exemple d'espèce menacée (Encadré 8).

### Encadré 8. Système de production des PAM spontanées au Maroc: forces et limites

Suivant les espèces considérées, on peut distinguer deux sous-systèmes:

1.1. Espèces dont l'exploitation est soumise à autorisation de l'administration (adjudications) (exemples: romarin, armoise, myrte, etc.)

1.1.1. Atouts de ce système:

- Il permet la valorisation d'une ressource naturelle qui peut être abondante
- Il permet de valoriser des potentialités économiques locales, particulièrement intéressantes pour les populations des régions défavorisées économiquement.
- Les autorisations administratives devraient, en principe, faciliter la gestion de la ressource et la protection de cette dernière contre les risques de sur-exploitation.
- Les adjudications aideraient à la transparence dans les relations entre l'administration et la profession.

1.1.2. Les limites du système

- Il ne permet pas au producteur d'établir des relations commerciales à long terme. Le professionnel est souvent incapable de programmer son activité sur 3ans, 2 ans, voire 1 année. Tout dépend de l'attribution des marchés à venir.
- Le système d'adjudication met les professionnels dans une situation de concurrence dangereuse pour la profession et pour le secteur.
- Il ne favorise pas la sauvegarde des peuplements exploités. Un producteur qui a obtenu un marché à un prix très fort (à cause de la concurrence) n'est animé, pendant la période d'autorisation obtenue, que par l'obtention du maximum de résultats de son exploitation. Il n'est pas sûr de revenir dans le même lot après la prochaine adjudication. La protection de la ressource passe, ainsi, vraiment au second plan.
- Ce système rend difficile une gestion durable de la ressource. Quand l'administration décide de mettre «au repos» un ou plusieurs lots, elle met en difficulté les professionnels qui ont engagé des contrats et les clients habitués à ces produits.

1.2. Espèces spontanées à accès libres (menthe pouliot, *Ormenis mixta* ssp. *multicaulis*, origan, etc.)

Les avantages de ce système ne diffèrent en rien du cas précédent (§1.1). Son principal inconvénient réside dans les risques qu'il peut faire encourir à la ressource. L'*Ormenis mixta* ssp. *multicaulis* est un exemple particulièrement intéressant. Cette espèce mérite une protection adéquate.

### 3. PROFESSION D'EXPLOITATION DES PAM AU MAROC

Jusqu'au début des années 70, le secteur des PAM au Maroc était tenu surtout par des étrangers. De nombreux marocains travaillaient déjà dans le secteur, mais ils agissaient pour le compte des maisons précédentes ou pour leur propre compte et proposaient leurs productions aux mêmes groupes.

Actuellement, la situation a beaucoup évolué. Les pionniers de l'industrialisation du secteur des PAM au Maroc ont pratiquement disparu du marché ou, ont fortement réduit leurs activités. Mais d'autres acteurs sont apparus. On trouve ainsi des sociétés étrangères ou filiales de sociétés étrangères: BIOLAND (France), LOKOUS (espagnole) en association avec McDORNIC (américaine). NATUREX (France) a installé une filiale au Maroc pour la production de molécules naturelles. Yves ROCHER a installé une unité de production d'infusettes à Marrakech (SOABIMEX), destinée à l'export et au marché local, etc.

Les caractéristiques principales communes à l'ensemble de ces maisons peuvent se résumer comme suit. Il s'agit d'établissements modernes utilisant des technologies de pointe, mais leurs relations avec le milieu extérieur sont quasiment nulles hormis la récolte de la matière première végétale. Il n'y a aucune possibilité d'un effet d'entraînement de l'ensemble de la profession par la diffusion de nouvelles technologies, par la dynamisation de la recherche-développement, par la vulgarisation de nouveaux modes d'organisation de la profession, etc. Il s'agit d'établissements tournés essentiellement vers leurs maisons mères et vers le marché international.

Parmi les transformations importantes qu'a connu le secteur, il y a lieu de souligner le grand nombre d'unités, entièrement marocaines, qui ont vu le jour durant les trois dernières décennies. Parmi ces unités on trouve:

- Des sociétés spécialisées qui essaient d'intégrer toute la filière, pour des produits donnés, depuis la culture jusqu'à la commercialisation. Elles sont installées pour la plupart à Marrakech ou à Casablanca.
- Des sociétés spécialisées dans la commercialisation des plantes séchées, qu'il s'agisse de plantes de culture (verveine, boutons de

rose, boutons de fleurs d'oranger, sauge, feuilles de vigne rouge, feuilles d'olivier, fleurs de cactus, racine d'iris,...) ou de plantes spontanées (feuilles de romarin, feuilles de myrte, feuilles de menthe pouliot, feuilles de mauve,...) (voir Annexe 1). Des unités de ce type sont nombreuses, de taille et de statuts juridiques variables. On en trouve depuis les sociétés anonymes ou SARL jusqu'aux personnes individuelles qui travaillent pour le compte de certaines de ces sociétés ou pour leurs propres comptes vendant le résultat de leur activité à des intermédiaires locaux.

- Des sociétés spécialisées dans l'extraction des huiles essentielles (HE) et extraits aromatiques (EA). Certaines de ces sociétés ont des installations fixes avec des équipements modernes. D'autres, beaucoup plus nombreuses, utilisent des équipements simples et faciles à transporter et à utiliser sur le lieu même de collecte de la biomasse végétale spontanée. Ces personnes morales ou physiques produisent plus de 80% des HE exportées.
- Dans de nombreux cas, l'établissement agit aussi bien dans le domaine de l'herboristerie que dans celui des HE. Dans d'autres cas, on trouve des établissements dont l'activité principale est le négoce dans un domaine différent des PAM, comme les céréales et les légumineuses. Toutefois, ces établissements consacrent une partie de leur activité aux produits de ce secteur, à savoir, la production et/ou le commerce des grains de coriandre, de fenugrec,...
- Sur le terrain, les producteurs (collecte et/ou distillation des plantes spontanées) peuvent être des paysans qui, au courant de l'année, font de l'agriculture ou de l'élevage. Mais au moment de l'exploitation d'une espèce aromatique de leur région (mai - juillet pour la menthe pouliot par exemple), ils laissent de côté leur activité principale et se consacrent à leur nouvelle occupation.

Il ressort de ce qui précède qu'au Maroc, la profession travaillant dans le domaine des PAM est très hétérogène. Elle est constituée par une mosaïque de structures de taille et nature très différentes.

Sur le plan géographique, les professionnels marocains travaillant dans ce domaine sont installés dans toutes les régions et, chaque exploitant individuel intervient, en général, dans tout le pays suivant le besoin et la disponibilité de la matière première. Des professionnels installés dans la région du Nord ne travaillent pas uniquement dans le Rif. On peut les retrouver dans le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas pour l'exploitation d'armoise, dans les Hauts plateaux de l'Oriental pour

le romarin,... À l'inverse, d'autres exploitants installés à Marrakech, à Casablanca, à Meknès, à Azrou,..., travaillent, dans le Nord, le Sud ou l'Oriental pour exploiter les ressources aromatiques et médicinales disponibles, soit directement soit par l'intermédiaire de personnes de la région.

En d'autres termes, il n'y a pas d'exploitants spécifiques de la flore d'une région donnée, sauf lorsqu'il s'agit de petits producteurs travaillant pour le compte d'un ou plusieurs professionnels précédemment cités. Ces petits producteurs locaux peuvent entreprendre le travail pour leur propre compte, mais écoulent leur production auprès des mêmes professionnels, ce qui revient finalement à la même chose, c'est à dire la coexistence de deux types de structures:

- Des professionnels plus ou moins spécialisés dans le domaine des PAM qu'on rencontre dans les diverses régions du pays (Tétouan, Larache, Tanger, Meknès, Azrou, Marrakech, Agadir,...). Ces acteurs disposent de moyens financiers suffisants et sont généralement en contact avec le marché extérieur. Ils travaillent dans tout le Maroc.
- Des producteurs locaux qui exploitent par occasion, une ou quelques plantes existantes dans leurs régions. Ce sont souvent des paysans, des commerçants,... pour qui, la récolte et/ou la production de PAM et d'HE est plutôt secondaire. Ce sont des personnes dont les moyens financiers sont souvent limités et dont le seul contact pour l'écoulement du produit se trouve à Casablanca, Marrakech, Tétouan, etc. Ces exploitants travaillent souvent avec la trésorerie des professionnels de la première catégorie (avance sur contrat).

Tous les professionnels, qu'ils soient ceux de la première catégorie ou, encore moins, ceux de la deuxième, ne disposaient, il y a encore quelques années, d'aucun cadre de coordination et d'orientation de leur activité. L'association pour le Développement des plantes aromatiques et médicinales du Maroc (ADEPAM) n'a été créée qu'en 1995. Elle compte actuellement une vingtaine d'adhérents officiels. Mais il lui faut beaucoup de travail et d'énergie pour convaincre les réticents, informer ceux qui ne le sont pas encore et persuader l'ensemble du fait que l'association peut devenir un outil très précieux, dans l'intérêt de tout le monde pour le développement du secteur.

Cette profession, même celle de la première catégorie (hormis les filiales des maisons étrangères), est souvent sous-encadrée. Il s'agit, la plupart du temps, de personnes qui connaissent le secteur, qui ont une longue histoire dans le domaine, qui ont des relations privilégiées avec des clients étrangers, mais qui manquent de formation scientifique, technique et de gestion indispensable pour la modernisation du secteur. Leur seul atout est une formation sur le terrain durant 10, 20 voire 30 ans d'activité.

Il faut, cependant, noter qu'il existe des unités, relativement récentes, tenues par des cadres ayant une bonne formation au moins en gestion d'entreprises. Une enquête réalisée auprès de quinze entreprises a révélé que deux d'entre elles ont été fondées par des ingénieurs, une autre l'a été par un gestionnaire. Ces trois entreprises ont à peine dix ans d'existence. Les douze restantes sont tenues par des entrepreneurs n'ayant qu'une formation simple (atteignant rarement le niveau de lycée) (3/12) ou pas du tout (9/12).

Cette situation de sous-encadrement technique des acteurs marocains travaillant dans le domaine des PAM est peut-être en train de changer actuellement. Les entreprises de création récente le sont sur l'initiative d'entrepreneurs ayant une bonne formation tant dans les domaines techniques que de gestion. Les anciennes unités de production sont en train de passer entre les mains de jeunes diplômés qui remplacent, ou se mettent à aider, leurs parents ayant de plus en plus de difficultés à faire fonctionner une entreprise même de type PME.

La diversité de la profession et son sous-encadrement technique chronique rendent difficile la diffusion de l'innovation pour l'amélioration des systèmes de production. L'organisation de cette même profession pourrait réduire l'effet de son émiettement et servir de levier multiplicateur pour la diffusion de l'information de toute forme. Mais, les mêmes causes (émiettement et sous-encadrement) ralentissent la mise en place d'une structure réellement représentative et efficace. Il s'agit là d'un défi que la profession marocaine doit lever non seulement pour se développer, mais aussi pour survivre. Les pouvoirs publics peuvent aider à la réalisation d'un tel objectif (Encadré 9).

### **Encadré 9. La profession d'exploitation des PAM au Maroc: forces et faiblesses**

#### 1. Atouts

- a. L'existence même de cette profession est un atout important pour toute politique de valorisation de cette ressource naturelle. Il est beaucoup plus difficile de réussir la mise en valeur d'une telle ressource en l'absence de compétences déjà rôdées au métier et à ces difficultés bien particulières.
- b. Cette profession est bien introduite dans le marché international. C'est un atout particulièrement important pour un pays dont les productions dans ce domaine sont, avant tout, destinées aux exportations (Cf. Encadré 6).
- c. Cette profession donne déjà des résultats non négligeables malgré les difficultés.

#### 2. Faiblesses

- a. Sous-encadrement scientifique et technique
- b. Hétérogénéité et éparpillement géographique
- c. Absence de cadre organisationnel efficace et représentatif de l'ensemble de la profession
- d. Les trois éléments précédents (§ a, b et c) rendent très difficile la diffusion de l'information et de l'innovation. Cette situation se complique encore davantage quand on tient compte des difficultés liées aux systèmes de production (Cf. Encadré 8)

## **4. TECHNOLOGIES UTILISÉES**

Les professionnels marocains du secteur utilisent souvent des technologies très simples et artisanales. Cette situation est logique quand on la rapproche du niveau d'encadrement qu'on vient de décrire. Ces technologies seront décrites dans les chapitres 9, pour les plantes séchées, et 10, pour la production des HE.

## **5. RÉALISATIONS DU SECTEUR**

Quelles que soient les faiblesses des systèmes de production et de la profession marocaine des PAM, celle-ci réalise aujourd'hui des productions importantes et permet au Maroc d'avoir une place non négligeable sur le marché international (Figure 1).

Plusieurs études détaillées ont été consacrées à cette question (Benjilali, 1987, 1992, 1997; Hmamouchi & Benali, 1997; Zrira *et al.*, 2003). Dans la présente étude, on s'est basé, pour évaluer les réalisations du secteur au Maroc, sur les statistiques de l'office des

changes du ministère des finances et de celles de l'établissement autonome de contrôle du commerce extérieur (EACCE). En effet, la presque totalité des productions, surtout dans le domaine des HE et EA, est destinée à l'exportation. Les statistiques douanières sont ainsi largement suffisantes pour estimer les productions réalisées aussi bien en tonnage qu'en valeur.

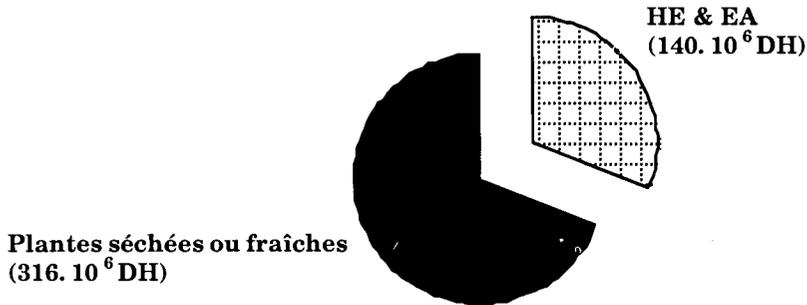


Figure 1. Exportations marocaines en PAM et dérivés (en valeurs)

### 5.1. Productions marocaines en HE et EA

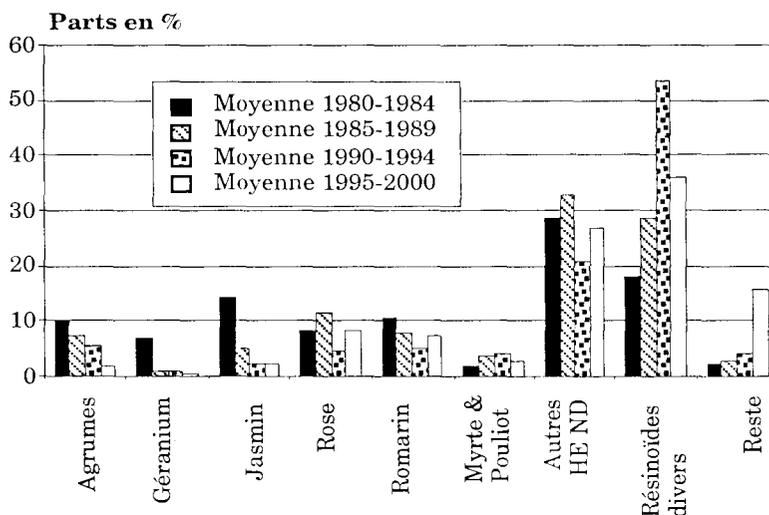
Le Maroc est traditionnellement un des principaux pays producteurs d'HE et d'EA. Plusieurs raisons expliquent cette situation:

- D'abord, le pays dispose d'une grande tradition dans la distillation de plantes aromatiques et surtout les plantes à parfums pour les besoins familiaux et/ou de marché. Durant des siècles, les Marocains ont su conserver les techniques de distillation développées, au 10<sup>ème</sup> - 11<sup>ème</sup> siècle par les Arabes pendant l'âge d'or de la civilisation arabo-musulmane.
- Le contexte géographique du pays, situé entre deux mers et un désert et traversé par trois chaînes montagneuses, se traduit par une gamme complète de bioclimats méditerranéens. Cette diversité de bioclimats favorise une flore riche et variée à endémisme très marqué.
- La proximité d'un marché important, la France en particulier, a certainement contribué au développement du secteur depuis les années 20 du siècle dernier.

L'ensemble de ces données explique les raisons qui ont permis à ce pays, depuis des décennies déjà, de démarrer une exploitation industrielle de cette richesse naturelle.

### 5.1.1. Plantes exploitées

Il est difficile de faire une liste complète des plantes exploitées au Maroc pour la production d'HE et d'EA. Certaines espèces sont irrégulièrement exploitées. D'autres le sont à des tonnages relativement faibles. Elles sont exploitées par un seul producteur pour les besoins d'un client. C'était le cas par exemple de la société CHAUVET à Khemisset qui faisait un grand nombre de produits, en petits volumes, pour les besoins de la société-mère seulement. Certains produits nouveaux commencent tout juste à s'imposer sur le marché international (exemple: «Camomille bleue du Maroc») ou y cherchent encore leur place (*Ammi visnaga* et carotte sauvage). La liste des plantes les plus couramment et les plus régulièrement exploitées au Maroc pour la production d'HE et EA est donnée dans l'annexe 2. La figure 2 résume la «composition» des exportations marocaines en HE et EA de 1980 à 2000.



**Figure 2. Produits des exportations marocaines en HE et EA**

(parts en % en moyennes de 5 ans: Moyennes annuelles de 1980 à 1984, puis 1985 à 1989, 1990 à 1994 et une moyenne annuelle sur 6 ans de 1995 à 2000).

Légende:

**Autres HE ND** = Autres HE non déterpénées telles qu'elles sont définies dans la nomenclature douanière. Cette rubrique comprend en particulier les HE d'armoise blanche dont le Maroc est le principal, si non l'unique, fournisseur mondial.

**Reste**: Plusieurs produits, exportés à de faibles quantités, sont regroupés sous cette rubrique (HE de menthe déterpénées ou non, diverses HE déterpénées,...)

**Résinoïdes divers**: cette rubrique comprend divers concrètes et résinoïdes: rose, piment doux, mousse d'arbres,...

Cette figure ne traite, pour chaque plante, que la partie de la production soumise à l'extraction (distillation ou extraction par solvants). Elle n'inclut pas les productions commercialisées en frais ou après séchage sur le marché d'herboristerie, aromates alimentaires,...

À la lecture de la figure 2, on peut retenir les constatations suivantes:

- Les résinoïdes représentés essentiellement par la niora (piment doux) étaient en rapide progression (en % des exportations totales) jusqu'en 1994. La part de ce produit dans le volume global des exportations marocaines est passée de 18% en moyenne entre 1980 et 1984 à 53% entre 1990 et 1994. Elle a même dépassé les deux tiers de ces exportations en 1991. Mais à partir de cette date, et pendant trois campagnes successives, la part de ce produit dans les exportations marocaines en HE et EA n'ont cessé de baisser: 47% en 94, 35% en 95 et seulement 29% en 1996. Ces mêmes exportations sont, ensuite, rentrées dans une phase de fluctuations permanentes: 41% en 1997, 32% en 1998 et plus de 50% de la valeur de l'ensemble du secteur en 2000. Ces fluctuations des exportations en valeurs et en tonnage ainsi que celles des prix sont des caractéristiques essentielles du secteur. Il semble que le résinoïde de paprika reste, malgré tout, un produit d'avenir. La demande mondiale qui lui correspond ne peut que s'accroître avec la perspective de législation internationale interdisant ou limitant fortement l'utilisation d'additifs alimentaires d'origine chimique. Pour profiter de cette opportunité, les producteurs marocains doivent moderniser leur production et les technologies mises en œuvre (récolte, séchage, extraction,...).
- Plusieurs produits (ou groupes de produits) semblent diminuer (en proportion) d'une façon continue entre 1980 et 1995. En fait, cette baisse relative (par rapport au volume global d'exportation) est souvent due à l'importante augmentation de la production de résinoïde plutôt qu'à une baisse réelle du produit.
- Le groupe de produits désignés sous l'appellation «reste» a connu une progression très importante durant la période étudiée (2% entre 1980 et 1984, 2.7% entre 1985 et 1989, 4% entre 1990 et 1994 et 17% entre 1995 et 2000). Cet ensemble de produits comporte les sous-produits terpéniques, les eaux distillées aromatiques, les solutions odoriférantes pour les industries agro-alimentaires (IAA) ou pour d'autres utilisations, les extraits liquides, alcooliques ou non pour la parfumerie ainsi que diverses HE déterpénées.

- Dans la catégorie «agrumes» sont regroupés divers produits à savoir:

- L'huile essentielle de la peau d'orange, sous-produit de la fabrication de jus de ce fruit. Elle représentait 2,8% environ (du total entre 1990 et 1996). Elle est produite par la société FRUMAT.
- L'essence de fleur de bigaradier (oranger amer) vient en deuxième position avec des parts variant de 1 à 2% entre 1980 et 1996. C'est un produit noble. Entre 1997 et 2000, on ne retrouvait plus, ou très faiblement, ce produit parmi les exportations marocaines.
- Le reste est constitué par divers produits élaborés en petites quantités: petitgrain (essences de feuilles d'agrumes), essences de mandarines, essences de bergamote,...

La principale production d'essences d'agrumes «autres que l'huile essentielle d'orange» est réalisée dans la région du Gharb dans des vergers spécialisés.

- Sous la rubrique «HE non déterpénées diverses», les statistiques de l'office des changes regroupent de nombreux produits dont certains sont importants (en tonnage) et qui méritent vraiment d'être mieux explicités et mis en évidence. C'est le cas, en particulier, de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba* Asso) dont la production est estimée à environ 30 t/an d'HE. Le Maroc est le seul fournisseur mondial de ce produit. Du point de vue tonnage, la production d'HE d'armoise occupe le deuxième rang après celle du romarin. L'*Ormenis mixta* ssp. *multicaulis*, appelée commercialement «camomille sauvage du Maroc» est un autre produit typiquement marocain. La production réalisée dans la région du Gharb mérite une attention particulière. Elle pourra menacer l'existence commerciale de ce produit, si on continue à exploiter aveuglement la plante poussant à l'état spontané. Sa culture ne doit poser aucun problème particulier, la rentabilité d'une telle culture non plus. D'autres produits peuvent être mis dans la même classe à savoir des produits réalisés à partir d'espèces spontanées et dont le Maroc est le seul fournisseur mondial. Il s'agit, en particulier, des HE de *Tanacetum annuum* L. appelée commercialement «camomille bleue du Maroc», de *Thymus satureoides* Coss. commercialement dénommé «thym doux du Maroc» ou tout simplement «thym du Maroc», du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) dont l'HE est extraite à partir de la sciure du bois de cèdre. On peut ajouter à la liste d'autres produits qui cherchent encore leur place sur le marché mondial comme les HE d'*Ammi visnaga* L. et de carotte sauvage dont des

petites quantités sont actuellement produites pour les besoins de l'aromathérapie essentiellement. Tous ces produits ont été introduits sur le marché international, pour la première fois, à partir du Maroc qui reste jusqu'à nos jours le fournisseur principal voire exclusif.

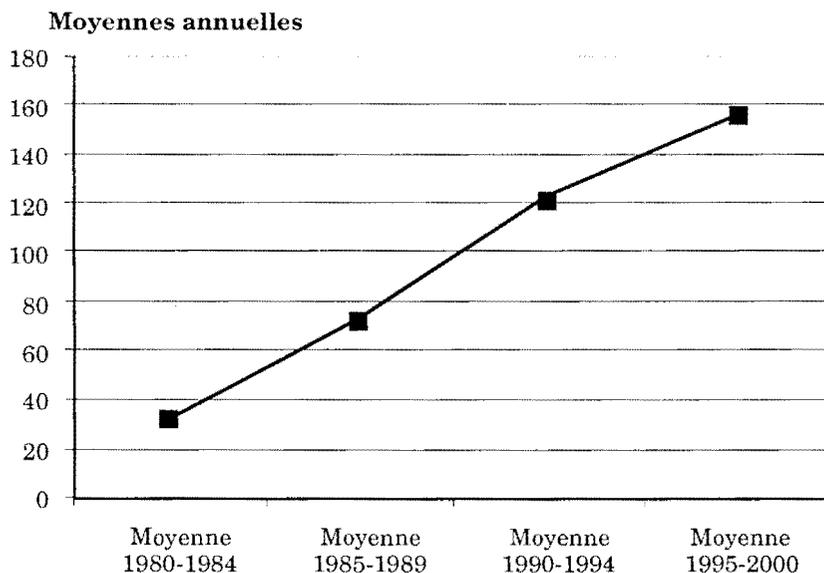
En plus de ces essences typiquement marocaines, les statistiques officielles mettent dans le même groupe, sans détails, d'autres produits plus classiques comme les HE d'origan (*Origanum compactum* Benth essentiellement), de laurier (*Laurus nobilis* L. et *L. azorica* (Seub) Maire) et l'HE à thymol, en particulier le prestigieux «thym de Terguiste du Maroc».

Il s'agit en fait d'une HE extraite à partir d'un origan (*Origanum elongatum* Emb et Maire), endémique du Maroc. Cette espèce est particulièrement abondante dans la région de Terguiste à laquelle elle doit son nom. Il s'agit d'un produit de qualité «thym à thymol» très réputé sur le marché international des HE.

La production des PAM au Maroc se révèle ainsi riche et diversifiée. Cette donnée est un atout important pour l'épanouissement et le développement du secteur. Plusieurs produits sont connus sur le marché international comme étant des produits typiquement marocains. Cela signifie que la profession d'exploitation des PAM au Maroc, malgré ses faiblesses, a réussi à introduire sur le marché international plusieurs produits nouveaux. Ceci n'aurait pas été possible sans la richesse des ressources naturelles disponibles. Ces deux données constituent deux éléments fondamentaux pour la réussite dans ce secteur.

### **5.1.2. Productions en valeur**

La figure 3 montre l'évolution globale des exportations du secteur entre 1980 et 2000. L'analyse de cette figure montre que, globalement, le secteur est en progression importante et continue pendant toute la période d'étude au moins en DH courant. Il passe de 31 millions de DH en moyenne entre 1980 et 1985 (20 millions de DH en 1980) à environ 155 millions de DH entre 1995 et 2000. Ce résultat a été obtenu malgré les conditions climatiques défavorables qui ont, plusieurs fois, handicapé le secteur pendant cette période.



**Figure 3. Exportations marocaines en HE et EA en millions de DH**

(moyennes annuelles de cinq périodes: 1980-1984, 1985-1989, 1990-1994 et 1995-2000) (Statistiques de l'Office des changes, 1980 à 2000)

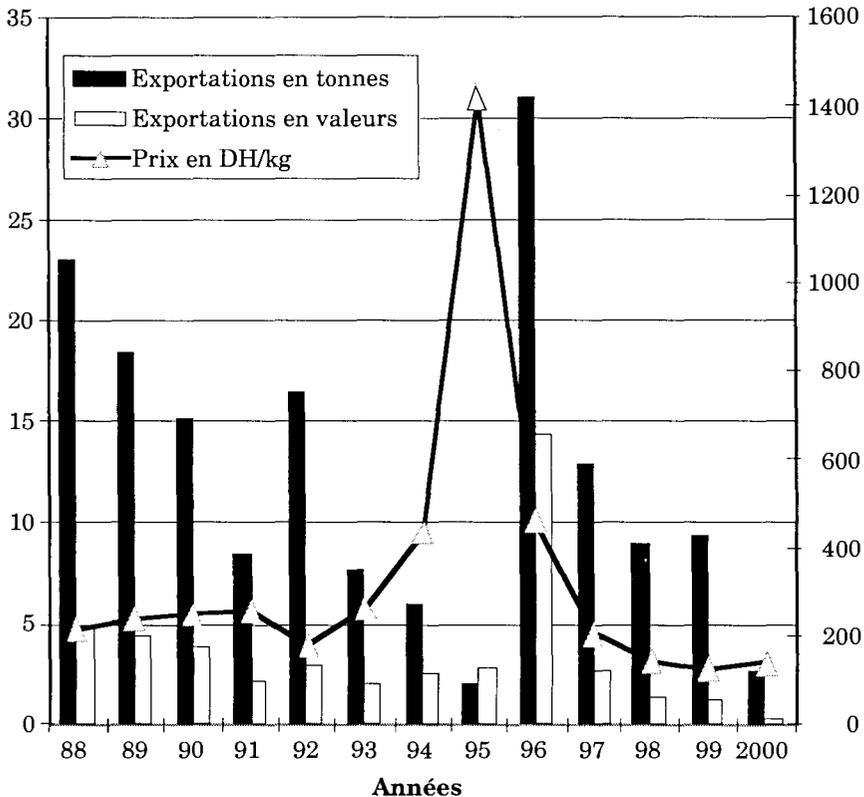
L'analyse de la situation par produit montre que les fluctuations de la production (en valeurs) reste la caractéristique principale avec cependant des nuances:

- Dans le cas de la menthe pouliot par exemple, il y a eu une phase d'expansion relativement continue de 1980 (38.239 DH/an pour 1.2 tonnes de produit) à 1988 (4.960.000 DH/an pour 23.1 tonnes d'huile essentielle). Cette phase d'expansion a été suivie d'une régression à partir de 1989. Les exportations de ce produit sont ainsi tombées à environ 8.5 t pour une valeur de 2.2 millions de DH en 1991. Depuis cette date et jusqu'à nos jours, le produit est entré dans une phase de grande turbulence. La figure 4 montre l'effet très néfaste du caractère spéculatif de cette production.
- Dans d'autres cas, on note une certaine cyclisation de la production (en valeur). Cependant, les fluctuations restent relativement limitées. Le minimum de la production était celle de 1980. Le maximum n'a jamais dépassé, pendant toute la période d'étude, le triple de cette dernière valeur. Ces produits sont les plus stables relativement. L'HE de romarin est un bon exemple de ce type de produits.

- Par contre, pour certains produits, les productions sont très variables d'une année à l'autre. Les HE et EA de diverses plantes à parfum de culture (géranium, jasmin et concrète de rose) font partie de cette catégorie de produits. Ces fluctuations peuvent traduire les changements dans les tonnages produits ou dans les prix appliqués.

Tonnes et valeurs (millions DH)

Prix en DH/kg



**Figure 4. Exportations marocaines en HE de menthe pouliot**  
 (Volumes en tonnes, Valeurs en millions de DH et prix en DH/kg)  
 D'après les statistiques de l'office des changes (1988 à 2000)

Les fluctuations, d'une année à l'autre, de la demande et/ou des prix et, par conséquent, des chiffres d'affaires, sont des caractéristiques fondamentales du secteur. Ces fluctuations sont une caractéristique du marché international. Elles se compliquent au Maroc par les effets de la sécheresse imprévisible étant donné qu'une grande partie de la production est réalisée à partir d'espèces végétales spontanées.

Pour réduire les effets de ces fluctuations, il est nécessaire d'éviter la mono-production. Au Maroc, la mise en culture de certaines espèces, actuellement exploitées à partir de peuplements spontanés, serait une stratégie d'avenir.

### **5.1.3. *Marché de destination***

Toute la production marocaine en HE et EA est exportée vers le marché international. Jusqu'en 1980, la France était le principal client pour les exportations marocaines de ce secteur. Plus de 80% de la totalité de ces exportations étaient destinées à ce marché. Les Américains étaient totalement absents. Mais durant toute la décennie des années 80, la situation a changé de façon continue jusqu'à égalité des parts en 1990. À partir de 1994 l'évolution s'est inversée à nouveau à tel point qu'en 1996, le marché américain n'a absorbé que 16.2% de cette production contre 54% environ pour la France. Cette situation s'est pratiquement maintenue jusqu'en 2000. Le marché américain est essentiellement important pour les résinoïdes (niora). De 1982 à 1992, ce marché absorbait annuellement entre 60 et 80% de la production marocaine dans ce domaine. Comme cette production a fortement augmenté durant la même période, il est normal que la part globale du marché devienne si importante. Mais à partir de 1994, la part de ce marché pour les exportations marocaines en résinoïde n'a cessé de diminuer (moins de 35% en 1996; environ 50% en 1997 et 20% en 1998). Ceci explique la diminution globale de la place du marché américain pour les exportations en HE et EA. Les fournisseurs marocains étaient pratiquement absents de ce marché, si important, pour tous les autres produits. Ces dernières années, des percées ont été réalisées pour certains produits, mais des opportunités très intéressantes restent à saisir. Pour ce faire, il faut une meilleure maîtrise de la qualité et des prix ainsi qu'une bonne connaissance de ce marché. Par ailleurs, la part du marché français, enregistrée au niveau global, est variable d'un produit à un autre comme le montre les exemples suivants:

- Le romarin. La France absorbait au début des années 80 plus de 90% de la production marocaine. Depuis 1982, cette part s'est stabilisée entre 50 et 70% selon les années.
- Dans les statistiques officielles, la rubrique dite «HE non déterpénées diverses» était jusqu'en 1987, à plus de 80% (voire 95% pour certaines années), destinée au marché français. Entre

1989 et 2000, des fluctuations extrêmement importantes ont été enregistrées concernant la part de ce marché pour les mêmes produits (45 à 86% suivant les années).

- La rose et le jasmin. À l'exception de deux années (1986 pour la rose et 1989 pour le jasmin), le marché français absorbe entre 90 et 100% de la production marocaine.
- Pour d'autres produits, la situation est très fluctuante. Tel est le cas des HE de menthe pouliot, ainsi que de celles d'orange et de géranium.

Les autres clients du Maroc sont par ordre d'importance le Japon (6.3% de ses exportations entre 1990 et 2000), le Canada (5%), l'Espagne et la Suisse (4% chacun) et l'Allemagne (2.1%). Le premier pays achète au Maroc surtout des résinoïdes et certains produits du chapitre «HE non déterpénées diverses». Les marchés allemand et suisse sont assez variés. Les exportations marocaines en HE et EA vers le marché espagnol sont essentiellement constitués de romarin, menthe pouliot et résinoïde de paprika. Notons que traditionnellement, les Espagnols sont (ou étaient) les principaux concurrents du Maroc sur le marché international pour tous ces produits.

Cette analyse du marché de destination de la production marocaine en HE et EA montre que les producteurs marocains sont restés trop liés à l'histoire de cette activité et sa genèse. Les pionniers de l'industrialisation des PAM au Maroc étaient des français. Ces derniers ont créé des relations privilégiées entre les producteurs au Maroc et le marché de la métropole de l'époque. Cette situation perdure jusqu'à nos jours.

Certes, ce type de relations n'est pas spécifique au secteur des PAM. Beaucoup d'autres secteurs sont dans des situations similaires. Or, un bon développement du secteur passe par la diversification du marché. Dans cette perspective de diversification, le marché américain est particulièrement intéressant.

Mais, pour en profiter réellement, il y a deux contraintes majeures à lever: le respect des normes et surtout le tonnage. La taille de ce marché ne laisse pas toujours de place pour les petits producteurs isolés.

## **5.2. Productions marocaines en PAM utilisées en herboristerie, aromatisation, médecine douce et en tisanerie**

Les produits de ce segment du secteur sont élaborés à partir d'espèces spontanées ou de culture (Cf. § 2). Quel que soit le système de production mis en œuvre, les produits réalisés peuvent être classés en cinq catégories: épices et produits similaires, aromates, plantes à parfums, plantes médicinales et plantes (ou parties de plantes) destinées aux industries d'extraction.

### **5.2.1. Épices et produits similaires**

#### 5.2.1.1. Principaux produits

On regroupe, dans cette classe de produits, le piment doux et ses dérivés, les graines de coriandre, le safran, le fenugrec, l'anis (graines), le cumin, le fenouil (graines) et le carvi. Toutefois, dans le cas du Maroc, trois produits représentent plus de 98% des exportations de ce segment de secteur: poudre de paprika, graines de coriandre et safran.

##### 5.2.1.1.1. *Poudre de Paprika*

Ce produit est fabriqué à partir de la niora de type rouge. Elle est commercialisée (marché local et international) sous différentes formes: cônes entiers, flocons ou à moitié transformée ou sous forme de poudre de Paprika.

La Niora (poivron rouge destiné à la fabrication de la poudre de paprika au Maroc) est cultivée aujourd'hui dans plusieurs régions du pays en particulier le centre (Béni Mellal) et la côte atlantique centrale. La chaîne de transformation de la récolte mérite de grands efforts pour son amélioration. À titre d'exemple, l'opération de lavage est souvent omise par les transformateurs. Or cette opération est d'une importance capitale pour accéder à des marchés aussi importants que le marché américain par exemple. Le séchage naturel au soleil est encore largement répandu malgré les problèmes techniques et hygiéniques qu'il pose (perte de couleur, risque de développement de moisissures,...).

### 5.2.1.1.2. *Coriandre*

La coriandre, en graines, est l'une des plus importantes épices cultivées au Maroc et qui en est le premier exportateur mondial. La variété cultivée au Maroc est particulière. Elle est très différente des variétés cultivées en Europe de l'Est ou ailleurs. Ces dernières sont cultivées pour leurs HE. La variété marocaine n'est pas intéressante pour une telle utilisation étant donnée sa faible teneur en HE. Par contre, la grande taille de ses graines et la qualité de son arôme en font un produit très apprécié sur le marché international pour l'aromatisation des aliments. Certains distillateurs ont essayé de la distiller sans succès. L'intérêt de la coriandre du Maroc réside dans la qualité de ses graines comme épice et non pas comme source d'une HE quelconque.

Le système de production de graines de coriandre au Maroc a déjà été décrit (§ 2.1.2). Ce système doit être entièrement revu pour améliorer les techniques culturales et le système de production dans son ensemble. L'intérêt commercial du produit justifie amplement un tel effort de recherche-développement.

### 5.2.1.1.3. *Safran*

La production du safran est très ancienne au Maroc. Le produit est un colorant et aromatisant alimentaire d'excellente qualité. Il a un très bon marché. Certains producteurs classiques, autour du Bassin Méditerranéen, comme l'Espagne et la Grèce, ont fortement réduit leur activité dans le domaine. Cette réduction s'explique par le manque de main-d'œuvre dont la récolte du safran est fortement tributaire. Les autres producteurs (Maroc, Turquie, Iran, ...) pourraient profiter de cette situation pour développer leurs productions.

Au Maroc, la culture du safran est localisée dans le Haut Atlas Central dans la région de Taliouine. On estime à 1400 les paysans qui pratiquent cette culture sur une superficie totale de l'ordre de 420 ha. Celle-ci est répartie en 3000 parcelles approximativement. Le système de culture reste très artisanal. La production moyenne au début des années 90 a été estimée à environ 1000 kg par an. Les rendements de 1992 étaient exceptionnels: entre 3 et 6 kg par ha.

En 1979, les principaux cultivateurs se sont organisés en coopérative en espérant acquérir un certain pouvoir de négociation. Mais aujourd'hui encore les ventes opérées au nom de la coopérative restent de l'ordre de 50 kg de safran par an, ce qui ne représente que 5% environ des ventes totales. La qualité de l'emballage, qui ne reflète nullement la valeur très élevée du produit, est un autre élément de faiblesse de la coopérative. Cette défaillance ne fait pas ressortir, vis-à-vis aussi bien des clients que des producteurs, les avantages que la coopérative peut garantir en terme de qualité.

Vu les très petites quantités des produits vendus par opération (allant de 100 g à quelques kg), la majorité des achats du safran sont traités par un petit nombre d'intermédiaires. Une petite quantité est achetée par les compagnies étrangères.

La taille des exploitations et les techniques de production utilisées ne permettent nullement l'amélioration des rendements des cultures et de la qualité des produits. La faiblesse de l'organisation des producteurs et de leur encadrement technique ne font que compliquer la situation. Or, il s'agit d'un produit qui peut jouer un rôle socio-économique non négligeable pour les populations locales.

#### 5.2.1.2. Exportations en valeur

Le tableau 4 résume les exportations marocaines en épices et produits assimilés. Les consommations locales sont importantes pour certains produits comme le paprika et le safran. Malheureusement, on ne dispose pas de chiffres fiables relatifs à cette fraction de la production.

Ce tableau permet de relever les principales remarques suivantes:

- Globalement, les exportations de ce segment du secteur ont varié entre 100 et 150 millions de DH par an (107 millions de DH en moyenne) entre 1994 et 2000. Au début de la décennie (1990 à 1993), la moyenne annuelle des exportations des mêmes produits a été estimée à environ 169 millions de DH par an (Benjilali et *al.*, 2000). Cette diminution des exportations est essentiellement due à des difficultés de production.
- Le piment rouge et les graines de coriandre représentent l'essentiel de ce segment d'exportations marocaines en épices et produits assimilés, soit plus de 98% du total sur toute la période allant de 1994 à 2000.

- La coriandre a connu une nette amélioration des exportations (en valeurs) entre 1984 et 1998. Ces exportations ont pratiquement triplé entre 1994 et 1997. Mais depuis 1998, on a assisté à un recul très net des exportations de ce produit. Les conditions climatiques (important déficit pluviométrique) ont certainement joué un rôle dans le manque de production.
- Les exportations du piment rouge (sous toutes ses formes) ont, par contre, connu une forte diminution: 64,5 millions de DH/an entre 1994 et 2000 contre 129 millions de DH par an les trois années précédentes (Benjlali *et al.*, 2000)

**Tableau 4. Exportations marocaines en épices et produits similaires**  
(valeur en millions de DH)  
D'après Statistiques de l'Office de Change (1994 à 2000)

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Moyenne	%
Piment et dérivés	61,34	108,39	96,13	93,20	53,56	20,80	18	64,52	60,20
Coriandre	24,13	26,70	48,36	63,62	50,77	40,10	30,7	40,63	37,92
Safran	0,67	0,31	0,11	0,46	1,19	0,42	0,01	0,45	0,42
Fenugrec	0,45	0,91	4,81	0,31	0,12	0,89	0,4	1,13	1,10
Autres*	2,0	0,39	0,001	0,30	0,11	0,17	0,21	0,45	0,42
Total	88,58	136,69	149,42	157,89	105,75	62,4	49,32	107,14	100

\* Autres = grains de cumin + grains de fenouil + grains de carvi

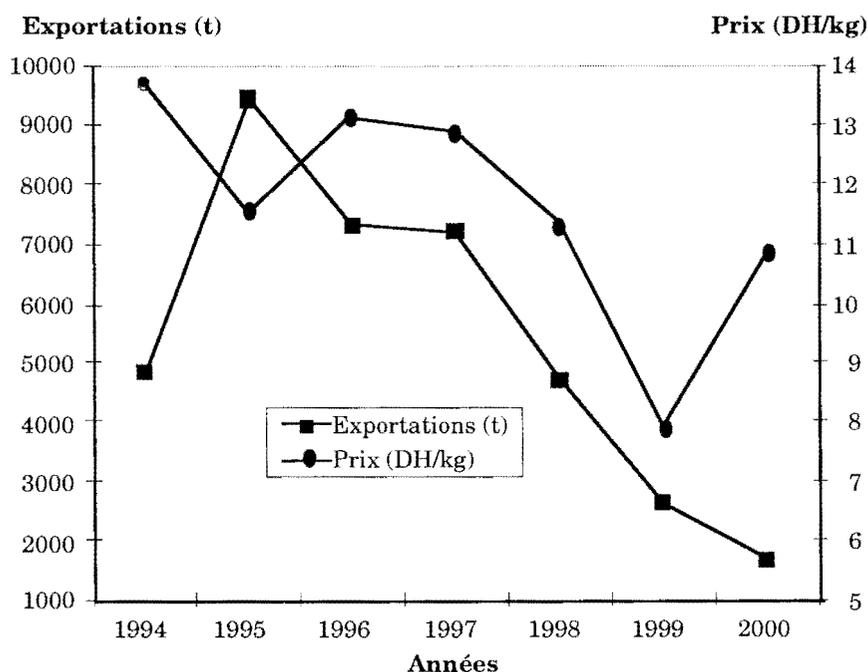
### 5.2.1.3. Marchés de destination

Pour analyser le marché de destination, on a retenu trois produits: deux produits majeurs (piment et graines de coriandre) et un produit secondaire (aujourd'hui), le fenugrec.

#### 5.2.1.3.1. Piment

L'analyse des exportations marocaines de la niora et ses dérivés de 1985 à 2000 permet de tirer quelques orientations quant aux possibilités de développement de ce produit.

Jusqu'en 1987, les volumes exportés ne dépassaient jamais les 10 tonnes. En 1989, ces exportations ont atteint 3 000 t puis 5 000 t environ en 1994 et 9 000 t en 1995. À partir de 1996, on assistait à une baisse continue des exportations marocaines en ce produit aussi bien en volumes qu'en valeurs (Figure 5).



**Figure 5. Évolution des exportations du Maroc en piment doux et dérivés**  
(Volumes en tonnes et prix en DH/kg) (EACCE, 1994 à 2000)

Il y a donc eu deux phases durant les douze dernières années (1989 à 2000). D'abord une phase d'expansion (1989 à 1995) due à l'intervention d'entrepreneurs espagnols qui ont passé des contrats de culture avec des agriculteurs marocains en vue de la production de la niora. L'Espagne a toujours été la destination principale avec 39,7% (moyenne de 1985 à 1994) des exportations suivie de la France (21,1%), des USA (16,7%) et de l'Allemagne avec 9,7%. Cette prédominance du marché espagnol n'a pas cessé de se confirmer pendant toute cette période: 50% des exportations marocaines en piment rouge en 1995 et 68% en 1996. À partir de 1996 ce produit est rentré dans une phase de régression. Le repli des exportations en tonnage s'accompagne d'une stagnation voire d'une baisse très nette des prix comme le montre la figure 5.

Les prix sont plus importants sur les marchés japonais (22 DH/kg en moyenne) et allemand (17 DH/kg) que dans les autres pays de l'Union Européenne (8 à 14 DH/kg). Les prix les moins élevés sont ceux du marché français. Les exportations du Maroc de ce produit vers l'U.E représentent 27,3% des importations de ce marché en

Niora et dérivés (AMI, 1995). Le Maroc a également assuré le plus gros des importations espagnoles de paprika. Il fût pendant longtemps un grand fournisseur pour la Hollande, la France, le Benelux, l'Irlande et le Danemark. La Hongrie a pu avoir une bonne part des marchés danois, italien, hollandais et allemand.

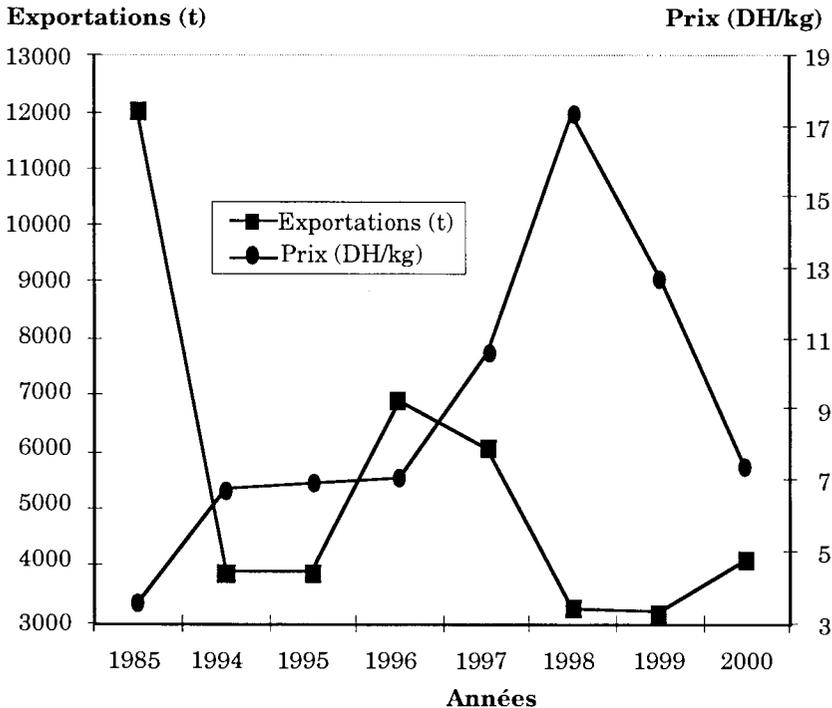
Il existe d'importantes potentialités pour développer ce segment d'exploitation, mais l'augmentation des exportations passe, d'une part, par la maîtrise des productions (en quantités) et des prix qui sécurisent le client et, d'autre part, par l'amélioration des techniques de lavage, de séchage et de conditionnement.

Sur le marché américain les exportations marocaines en paprika sont en croissance bien que le prix unitaire évolue vers la baisse. L'Espagne est le concurrent principal du Maroc sur ce marché. En 1994, les exportations marocaines en niora et dérivés vers le marché américain ont, pour la première fois, dépassé celles d'Espagne (en tonnage). Cependant, les prix unitaires pour les produits venant de l'Espagne sont restés nettement supérieurs. Le Chili demeure en troisième position en terme de volume, mais avec des prix plus élevés. Les problèmes de qualité du produit doivent expliquer, au moins en partie, ces différences des prix. En terme de qualité, le paprika hongrois est le plus apprécié sur le marché américain, mais on a enregistré dernièrement une baisse du tonnage ainsi que des prix unitaires de ce produit. Il se situerait en 1994 autour de 3,5\$ US (AMI, 1995) soit environ le double du même produit venant du Maroc.

Le paprika, malgré le déclin relatif des exportations marocaines en ce produit entre 1996 et 2000, reste un produit à fort potentiel de développement. Pour qu'un pays comme le Maroc puisse améliorer sa position sur le marché international, il doit tenir compte des exigences de ce dernier qui sont de plus en plus sévères aussi bien en qualité de produit qu'en terme de sécurité d'approvisionnement pour le client (tonnage et prix). Pour un même produit, les prix varient beaucoup d'un marché à un autre. À l'intérieur du même marché, les prix varient en fonction de la provenance des produits. Les problèmes de qualité sont, au moins en partie, responsables de ces fluctuations. Ce sont là un ensemble d'éléments dont la maîtrise permettrait aux exportateurs de valoriser au mieux leurs productions sur le marché international.

5.2.1.3.2. *Graines de coriandre*

Les quantités exportées ont connu une baisse très nette entre 1985 et 1999 alors que les prix s'amélioraient de façon continue, au moins jusqu'en 1998 (Figure 6). Cette situation ne peut s'expliquer que par des difficultés de production. Au Maroc, la coriandre est cultivée essentiellement en «bour» sans aucun système d'irrigation. Le déficit pluviométrique qu'a connu le pays ces dernières années devrait expliquer au moins une bonne partie de cette difficulté de production.



**Figure 6. Exportations marocaines en graines de coriandre**  
(volumes et prix) (d'après les statistiques de l'EACCE, 1985 à 2000)

La flambée des prix enregistrée entre 1996 et 1998 (augmentation des prix d'environ 24% en deux ans) est une caractéristique des marchés de certaines PAM et dérivés. Cette phase d'encherissement anormal du produit est souvent suivie par une période de baisse des prix parfois catastrophique pour le producteur. La coriandre du Maroc n'échappe pas à cette règle. À partir de 1999, les cours du produit baissaient d'une année à l'autre. En 2000, ils ne représentaient plus que moins de 43% de leur niveau de 1998. Cette

caractéristique déstabilise fortement le secteur et handicape son développement (Cf. § 3.3 / chapitre 1). De grands produits ont été éliminés du marché à cause de ce phénomène de non maîtrise des prix et des volumes de production (les deux éléments sont liés). Les grandes sociétés ont essayé de résoudre le problème en intégrant dans leur activité, la production de la biomasse végétale soit directement, soit grâce à des contrats avec des producteurs spécialisés (Cf. § 3.4 / chapitre 1). En France, on a assisté ces dernières années à une expérience qui semble bien fonctionner. Plusieurs producteurs de biomasses végétales se sont regroupés en coopérative avec des industriels utilisateurs de leurs productions. L'accord entre les deux parties (producteurs de biomasses végétales, d'une part, et industriels, d'autre part) prévoit un système d'amortissement des fluctuations des prix. Analysé sur plusieurs années (5 ans au minimum) le système s'est révélé bénéfique pour toute la profession.

En se basant sur les moyennes des sept dernières années (1994-2000), les principaux clients du Maroc pour ce produit sont le Japon (72 %) suivi des Pays-Bas (8%), du Royaume Uni (3,2%), de l'Espagne (3%), des USA (1,5%), de la France (1.6%) et de la Belgique + Luxembourg (1%). Le reste (environ 10%) est partagé par divers pays asiatiques: Indonésie, Singapour, Corée du sud,...

Classiquement, la coriandre marocaine était bien appréciée par le consommateur de l'Amérique du Nord, mais ces dernières années, on a enregistré une perte de ce marché, surtout canadien au profit d'autres fournisseurs. Les raisons seraient essentiellement dues au prix et à la qualité des produits concurrents.

#### 5.2.1.3.3. *Fenugrec*

Ce produit est classé quatrième dans les exportations des épices et dérivés en valeur (1% en moyenne entre 1994 et 2000). Les quantités exportées étaient pendant longtemps en croissance. Elles ont atteint le maximum en 1988 (275 tonnes), date à partir de laquelle on a enregistré un déclin spectaculaire ramenant ce volume aux alentours de 100 t en 1994. Depuis cette dernière date, les volumes exportés sont devenus très aléatoires d'une année à l'autre: 156t en 1995, 703 t en 1996, 44 t en 1997, 91 t en 1998, 108 t en 1999 et 60 t en 2000.

Hormis la hausse remarquable des prix du fenugrec en 1994 (7,5 DH/kg), le prix mondial a été plus ou moins stable depuis 1985 jusqu'à 1998 (4 à 5 DH/kg). À partir de 1999, il a commencé à augmenter: 6 dh en 1999 et 6.5 DH en 2000.

Les principaux clients du Maroc sur la période 1985-1996 sont : la Libye avec 36% des exportations suivie des USA (15%), puis le Royaume Uni (13%) et les Pays Bas (8%). À partir de 1997, le marché libyen a totalement disparu. Il est remplacé par le marché américain (86% des exportations marocaines en 1999 et 63% en 2000). La disparition du marché libyen expliquerait en partie la baisse des exportations de ce produit.

### **5.2.2. Aromates**

On regroupe dans ce segment de secteur un ensemble de produits, commercialisés sous forme de feuilles, utilisés essentiellement pour l'aromatisation des produits alimentaires y compris les boissons et infusions consommées à but non médicinal.

Les mêmes produits peuvent être utilisés pour leurs propriétés médicinales, mais sur le plan quantitatif, cette utilisation reste plutôt secondaire.

#### **5.2.2.1. Principaux produits**

La liste des produits exportés par le Maroc sur le marché international, qu'on peut classer dans la catégorie des aromates, est très longue (Tableau 5).

Toutefois, cinq produits représentent (en valeur) 90% environ des exportations réalisées par ce segment du secteur. Deux sont des produits de culture (verveine et menthe). Les trois autres proviennent de plantes spontanées (romarin, thym et origan).

##### **5.2.2.1.1. Verveine**

Le Maroc est un producteur de verveine odorante (*Lippia citriodora* Kunth) bien connu sur le marché international. Le système de production et les techniques culturelles ont déjà été décrits (Cf. § 2.1.1).

**Tableau 5. Exportations marocaines de diverses plantes (feuilles) ou aromates (en millions de DH)**  
D'après Etablissement Autonome de Contrôle du Commerce Extérieur, EACCE, 1995-1996 à 2002-2003

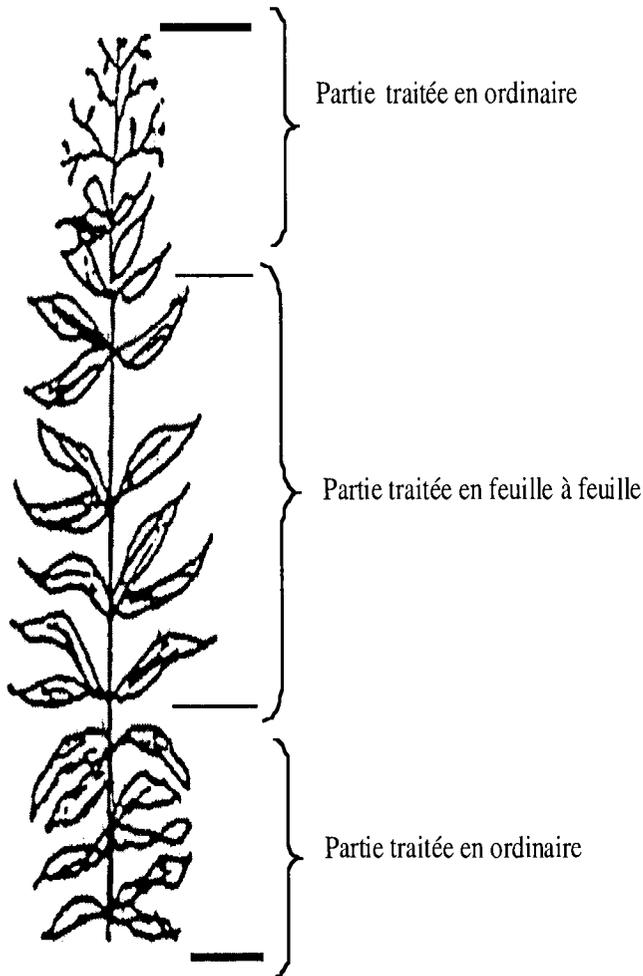
	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01	01-02	02-03	Moyennes	% <sup>(1)</sup>	% <sup>(2)</sup>
Thym	08.36	09.64	09.26	10.3	13.83	10.6	13.31	14.12	11.17	14.5	19.1
Romarin	05.6	12.0	15.22	13.77	17.84	17.55	21.63	24.31	15.99	20.7	27.3
Origan	02.09	01.98	01.88	04.83	03.8	03.58	01.20	00.09	2.43	3.15	4.1
Verveine	28.87	29.93	20.4	17.3	18.92	21.10	20.11	18.05	21.84	28.3	37.3
Sauge	02.1	02.93	02.13	01.66	02.46	1.58	00.54	01.72	1.89	2.44	3.2
Persil	04.39	03.72	00.26		0	00.14	00.24	00.28	1.13	1.46	1.9
Laurier	00.24	00.26	00.21		0.36	00.88	00.49	00.07	0.32	0.41	0.5
Menthe séchée	01.16	02.01	01.32	01.21	1.44	07.74	1.49	00.91	2.16	2.80	3.7
Menthe fraîche						0.3	65.92	82.30	18.57	24.1	
Autres(3)	00.11	00.23	00.02	00.14	0.56	007.7	02.57	2.24	1.69	2.19	2.9
<b>Total</b>	<b>52.92</b>	<b>62.7</b>	<b>50.7</b>	<b>49.21</b>	<b>59.21</b>	<b>71.14</b>	<b>127.5</b>	<b>144.09</b>	<b>77.19</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(1) : Parts moyennes, en %, en incluant la menthe fraîche

(2) : Parts moyennes, en %, sans la menthe fraîche

(3) : Bigarade, basilic, feuilles d'oranger,...

La verveine est commercialisée sous forme de quatre produits de qualités différentes. La qualité feuille à feuille (Verveine F/F) est le produit noble de la verveine. Cette qualité, constituée par les feuilles de la partie médiane de la plante (Figure 7) aussi intactes que possible, sans brisures, est la plus rémunératrice.



**Figure 7. Schéma de différenciation des deux principales qualités des produits de verveine**

La qualité standard, appelée également qualité ordinaire et dénommée commercialement «qualité OR» est constituée des feuilles des parties basse et haute de la plante. La troisième qualité est

représentée par les brisures des feuilles et des petites tiges résultantes des opérations de séchage, nettoyage et conditionnement. La production des deux premières qualités (F/F et OR) laisse des tiges défeuillées. Ces dernières sont parfois commercialisées sous l'appellation «verveine tiges».

#### 5.2.2.1.2. *Romarin*

Il s'agit d'un produit de cueillette. Les récoltes sont réalisées dans les peuplements naturels se trouvant essentiellement dans les domaines des eaux et forêts de l'Oriental marocain. Les systèmes de production ont déjà été décrits (Cf. § 2.1.2).

La principale espèce concernée par cette production est *Rosmarinus officinalis* L. Toutefois, des études réalisées sur le romarin de l'Oriental du Maroc ont montré qu'il existe dans cette région deux espèces qui se mélangent: *R. officinalis* L. et *R. eriocalix* Jordan et Fourr (El Amrani, 1999). La première espèce est, cependant, largement dominante. Par ailleurs, les qualités aromatiques des deux espèces sont si voisines que, même si les paysans qui font la cueillette sont incapables d'en faire la distinction, cela n'affectera nullement la qualité du produit fini. Par contre, le mode de récolte (niveau de coupe par exemple) et la période de récolte peuvent influencer grandement sur les rendements de l'exploitation, sur la pérennité des peuplements ainsi que sur la qualité des produits finis (El Amrani, 1999). Les techniques de séchage, de nettoyage et de conditionnement méritent d'être profondément améliorées (voir chapitres 4 et 9).

Certains pays, comme la France, réalisent une bonne partie de leur production de romarin (HE et aromates) à partir des plantes de culture. Le romarin est cultivé, à cette fin, avec des techniques culturelles spécifiques. La rentabilité de cette culture ne semble poser aucun problème au Maroc (voir Encadré 10, Chapitre 3). La mise en culture aurait l'avantage de mieux maîtriser les productions tant en quantité qu'en qualité.

#### 5.2.2.1.3. *Thym*

Les exportations marocaines de thym, sous forme de feuilles séchées, sont du même ordre de grandeur que le romarin (en valeurs) (Cf.

Tableau 5). Les productions sont réalisées à partir de peuplements naturels de *Thymus satureoides* Coss. L'exploitation de cette espèce est réalisée essentiellement dans le Haut-Atlas central (sud de Marrakech)

*T. satureoides* est une espèce endémique du Maroc. Trois principaux chemotypes (chimiotypes = types chimiques) ont été définis pour cette espèce sur la base de la composition chimique de son HE, autrement dit, la qualité de son arôme (Benjilali *et al.*, 1987a):

- Chemotype à bornéol. La teneur de cet alcool monoterpénique dans l'HE peut dépasser 60%. Ce chemotype est particulièrement abondant dans le Haut-Atlas occidental.
- Chemotype à phénols (thymol ou carvacrol). Des peuplements de ce chemotype ont été repérés dans le Haut-Atlas oriental. Toutefois, ces peuplements ont peu d'intérêts pratiques. Ils sont peu abondants et se rencontrent dans des environnements très dégradés. Ils n'ont, pour ainsi dire, aucun intérêt pour les exploitants.
- Chemotype mixte. L'HE de ce chemotype a une composition moyenne entre les deux précédents: entre 24 et 30% de bornéol et une teneur en phénols (thymol + carvacrol) de même ordre de grandeur ou légèrement inférieur. Ce chemotype est abondant dans le Haut-Atlas central.

L'exploitation actuelle est réalisée essentiellement dans le Haut-Atlas central, donc le chemotype mixte. Celui à bornéol (Haut-Atlas occidental) est une niche particulière qui n'est pas du tout valorisée pour l'instant. Les peuplements naturels du chemotype à phénols (Haut-Atlas oriental) sont difficiles à exploiter. Mais ce chemotype peut être valorisé par une sélection et mise en culture éventuelle.

Ce polymorphisme chimique de l'espèce montre combien il est important de disposer de données scientifiques aussi précises que possible pour une meilleure maîtrise de la qualité du produit fini. D'autre part, la connaissance du produit doit permettre de lui définir des normes qui le distinguent d'autres produits voisins.

#### 5.2.2.1.4. *Origan*

Dans le marché international, on trouve plusieurs espèces échangées sous l'appellation «origan»: Origan d'Espagne (*Coridothymus*

*capitatus* (L.) Rchb. = *Thymus capitatus* (L.) Hofmog et Lunk), origan de Turquie (*Origanum onites*), origan grec (*O. vulgare ssp. Viride*),... (Laurence, 1984). L'origan du Maroc est produit à partir des peuplements naturels d'*Origanum compactum* Benth. Il s'agit d'un excellent aromate alimentaire. Il est particulièrement apprécié par les fabricants des pizzas et produits similaires. Son arôme et la forme de ses feuilles en font un aromate de choix pour ce type de produits. Les exportations marocaines de cet aromate ne sont limitées que par la disponibilité de la matière première. La mise en culture de cette espèce serait un choix judicieux.

#### 5.2.2.1.5. *Menthe*

La menthe la plus cultivée au Maroc est l'espèce *Mentha viridis* L. à carvone. Cette menthe est la plante aromatique la plus populaire au Maroc. Contrairement à toutes les autres PAM, la menthe produite au Maroc était, il y a encore quelques années, destinée au marché local en premier lieu. Une partie relativement faible de cette production était exportée sous forme de feuilles séchées (Cf. Tableau 5). La production d'HE à partir de cette espèce a toujours été handicapée par le prix de la matière première sur le marché. Le prix de cette dernière sur le marché du frais est souvent trop élevé pour encourager les distillateurs à produire l'HE. Toutefois, au début de l'été, il y a souvent une surproduction de biomasse végétale que le marché du frais n'arrive pas à absorber. Certains distillateurs profitent de cette période pour réaliser une petite production d'HE de menthe verte à carvone.

Durant les deux dernières années, on a assisté à une forte demande du marché extérieur pour cette plante en frais. En deux ans, on est passé d'un marché, à l'export, insignifiant (quelques centaines de milliers de DH) à plusieurs dizaines de millions de DH: 300 mille DH durant la campagne 2000-2001, 66 millions de DH en 2001-2002 et 82 millions de DH en 2002-2003. Le marché d'export est très diversifié. En 2002-2003, il se présentait ainsi: la France (25%), la Belgique (35%), l'Espagne (12%), l'Italie, le Canada, la Hollande, l'Allemagne (6% environ chacun),...

Tous ces marchés sont caractérisés par la présence de communautés marocaines (et maghrébines en général) importantes. Ces exportations viennent donc répondre essentiellement à la demande

de ces communautés. On a ainsi mis en valeur une niche particulière du marché en utilisant une production qui existe déjà et qui est capable de répondre à ce marché. Dans le domaine des PAM, la stratégie de recherche et la mise en valeur de niches particulières paye toujours mieux que de copier le voisin. L'innovation, au sens large, est un levier multiplicateur important pour le développement du secteur. Dans le cas présent, on est sorti des produits classiques de la menthe sur le marché international (feuilles séchées et HE) à des produits en frais. Cela suppose une organisation et des techniques de production particulières. C'est le prix de l'innovation et du développement au moins dans ce secteur. Il va falloir maintenant savoir entretenir ce marché par la maîtrise de l'offre en quantité, qualité et prix.

#### 5.2.2.2. Exportations en valeurs

L'analyse des données relatives aux exportations marocaines en aromates (Cf. Tableau 5) montre que, hormis la menthe fraîche, ce segment de secteur est relativement stable (en valeurs). Il se situe entre 40 et 60 millions de DH/an entre 1995 et 2003. Par ailleurs, Pendant les deux dernières campagnes, la menthe fraîche représentait à elle seule plus de 50% de la valeur des exportations marocaines en aromates

En dehors de la menthe fraîche, quatre produits représentent 88% environ des exportations en aromates à savoir la verveine, le romarin, le thym et l'origan.

##### 5.2.2.2.1. *Verveine*

Elle a représenté en moyenne, sur huit campagnes (1995-1996 à 2002-2003), 37% de la valeur de cette rubrique. Durant les quatre dernières campagnes, le Maroc a exporté environ 558 t de produits de verveine par an, en moyenne: 107t de la qualité F/F au prix moyen de 52.1 DH/kg, 296 t de la qualité OR au prix moyen de 29.71 DH/kg et 155 t de brisures (prix moyen: 26.28 DH/kg).

Comme toutes les plantes aromatiques, les prix de vente de la verveine sur le marché international sont très fluctuants. Ils ont atteint 60 FF/kg en 1985-1986, entraînant une augmentation considérable dans la production et l'exportation à partir du Maroc.

Cette situation a conduit à une baisse catastrophique des prix pour atteindre 15 à 20 FF/kg en 1993. Depuis cette date, les prix ont remonté progressivement pour atteindre 60 DH le kg (35 FF), départ producteur, en 1995-1996. Mais le déclin a repris dès la campagne suivante. En 1997-1998, les prix ont ainsi atteint 37.2 DH le kg pour la qualité F/F et 23.7 DH/kg pour la qualité standard. À partir de la campagne suivante, les prix ont commencé à s'améliorer, d'année en année, pour atteindre 65 DH/kg (qualité F/F) en 2001-2002.

Ce phénomène de fluctuations des prix a déjà été décrit dans le cas de la coriandre (Cf. § 5.2.1.3). Il est quasiment général pour tous les produits du secteur. Diverses techniques sont aujourd'hui utilisées pour réduire les effets de ce phénomène qui handicape le développement du secteur (Cf. § 5.2.1.3).

#### 5.2.2.2.2. *Romarin*

Le romarin sous forme de feuilles séchées représente, en valeur, le deuxième aromate le plus exporté par le Maroc (27% en moyenne entre 1995 et 2003). Les volumes exportés et les prix appliqués peuvent être nettement améliorés. Pour ce faire, il est nécessaire d'améliorer la qualité du produit fini grâce à des techniques de séchage, de nettoyage et de conditionnement plus performantes. Dans ces conditions, le romarin du Maroc peut devenir compétitif face à celui d'autres fournisseurs (Espagne et France) qui proposent des prix beaucoup plus élevés.

#### 5.2.2.2.3. *Thym*

Le thym est le troisième produit, en valeur, de la rubrique concernée (17.1% de la rubrique, en moyenne, entre 1995-1996 et 2002-2003). Les exportations du thym ont connu une nette progression durant les années 90. De 3.82 millions de DH pendant la campagne 1990-1991, on est passé à 13 millions de DH en moyenne entre 2002 et 2003. Les quantités exportées variaient entre 300 et 800 tonnes durant la période 1985-1996. Elles ont dépassé le millier de tonnes par an entre 1997 et 2003. Les prix qui ont été très stables entre 1987 et 1990 (entre 6 DH et 6.5 DH/kg) ont connu une croissance importante à partir de 1991 pour atteindre 9.5 DH/kg en 1994. Ces prix se sont stabilisés, à la fin des années 90, à 7.90 DH le kg.

### 5.2.2.3. Marchés

Les marchés de destination des exportations marocaines en aromates varient souvent d'un produit à l'autre. Les exemples suivants illustrent cette réalité.

#### 5.2.2.3.1. *Verveine*

Les principaux clients du Maroc pour ce produit sont, selon les statistiques de 1995 à 2003, la France (41% des exportations marocaines) suivie de l'Espagne (25.5%) et l'Allemagne (23.1%). Entre 1990 et 1994, la situation était différente: le marché français absorbait 56% des exportations marocaines en verveine. Le marché allemand venait en deuxième position (25.8%). Le marché espagnol n'a absorbé pendant la même période que 7.7% des mêmes exportations (Benjilali *et al.*, 2000). Ces données montrent que, jusqu'à présent, ces trois marchés se partagent l'essentiel (90% environ) des exportations marocaines en verveine. Le développement des exportations de verveine passe obligatoirement par la recherche de marchés autres que ces marchés européens traditionnels, ainsi que par une amélioration des techniques de séchage, de nettoyage et de conditionnement.

#### 5.2.2.3.2. *Romarin*

La situation concernant le marché du romarin du Maroc est complètement différente de celle de la verveine. Les États-Unis d'Amérique ont été, durant les quatre dernières campagnes (1999-2000 à 2001-2003), les premiers clients des exportateurs marocains pour ce produit. Ce marché a absorbé 46% de ces exportations. Il s'agit d'une donnée nouvelle: les professionnels marocains des PAM ont réussi à pénétrer un marché qui ne leur est pas tellement habituel, mais cela leur pose de nouvelles contraintes. D'une part, le marché américain est un gros marché. Pour le pénétrer et y rester, il faut être capable d'assurer une offre à l'échelle de ce marché et de façon régulière. D'autre part, le marché américain est très exigeant quant à la qualité des produits.

Le reste des exportations est partagé par au moins une dizaine d'autres pays. Certains sont des clients classiques des productions marocaines en PAM comme la France (15%), l'Espagne (9.7%),

l'Allemagne (5.9%), l'Italie (5.6%). D'autres marchés représentent de nouveaux clients pour ce produit: le Canada (2.2%), le Japon, l'Afrique du Sud,...

#### 5.2.2.3.3. *Thym*

Les marchés de destination des exportations marocaines de thym sont encore plus dispersés que ceux du romarin. 25 pays se partagent les treize millions de DH exportés annuellement: Les États-Unis d'Amérique (36% en moyenne sur les quatre campagnes: 1999-2000 à 2002-2003), la France (12%), le Japon (8.8%), l'Espagne (7%),...

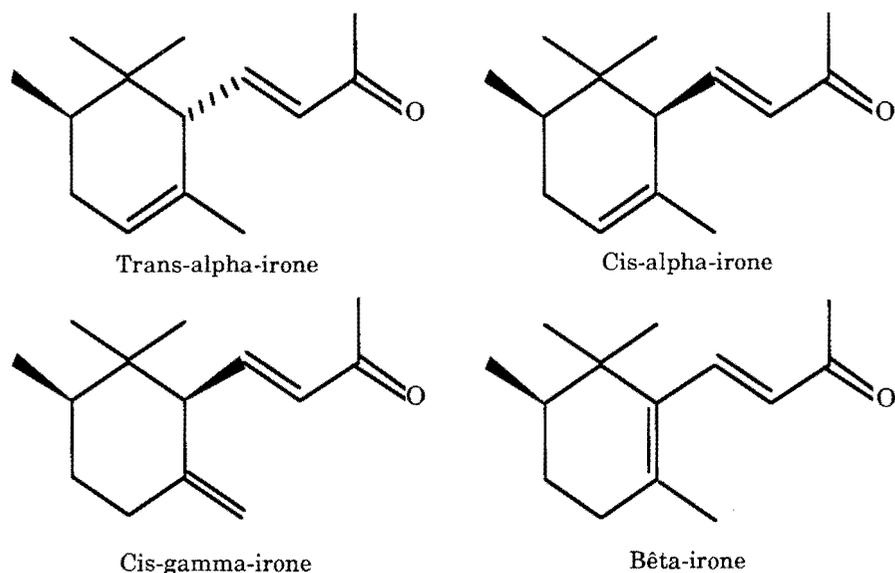
Quatre ans plus tôt, la situation était bien différente: le marché français venait en première position (29%). Il était suivi par le marché américain (10.9%), japonais (9,8%) et espagnol (10.3%). Les prix varient d'un marché à l'autre comme cela a été déjà souligné dans le cas du paprika (*Cf.* §5.2.1.3). En moyenne sur quatre campagnes (1999-2000 à 2002-2003), ces prix se présentaient comme suit: 12.64 DH/kg pour l'Australie, 12.15 DH/kg pour le Japon, 11.2 DH/kg pour les USA, 9.9 DH/kg pour l'Espagne et 9.6 DH/kg pour la France.

### 5.2.3. *Plantes à parfums*

On regroupe dans cette classe de produits, les plantes (ou parties de plantes) destinées à l'industrie d'extraction pour élaborer des extraits qui intéressent essentiellement le secteur de la parfumerie et de la cosmétique. Le Maroc exporte deux produits qui peuvent être classés dans cette catégorie: les racines (ou rhizomes) d'iris et la mousse d'arbres.

#### 5.2.3.1. *Racines d'iris*

Les racines (ou rhizomes) d'iris sont utilisées pour l'extraction du beurre d'iris. Il s'agit d'un produit obtenu par entraînement à la vapeur d'eau comme toutes les HE, mais il se présente sous forme d'une masse concrète blanchâtre d'où l'appellation «beurre» d'iris. Les constituants nobles du beurre d'iris sont les irones. Quatre isomères de cet aldéhyde, prestigieux pour tous les parfumeurs de grandes marques, ont été identifiés dans le beurre d'iris (Figure 8).



**Figure 8. Quatre isomères d'irone du beurre d'iris**

Deux espèces d'iris sont cultivées à travers le monde pour la production du beurre d'iris destiné à la parfumerie: *Iris pallida* Lam. et *I. germanica* L. L'*Iris pallida* Lam., appelé aussi l'iris de Florence, est facilement reconnaissable par la couleur violet-bleu de ses fleurs. Cette espèce est cultivée à des fins industrielles dans la région de Toscane de l'Italie centrale. L'*I. germanica* L., connue également sous le nom «d'iris de Vérone», est cultivée dans diverses régions du Maroc et particulièrement dans le Haut-Atlas central. Ces cultures sont peu exigeantes en qualité du sol et l'apport de fumure n'est pas indispensable.

À la troisième année de culture, les rhizomes sont collectés, décortiqués et séchés avant leur exportation. Les rhizomes sont ensuite distillés pour la production du beurre d'iris. La qualité de ce dernier est appréciée par la teneur en irones et la nature de ses isomères. La teneur en irones est fonction, entre autres, de la durée de vieillissement des racines après leur récolte. Un minimum d'un an de stockage est généralement recommandé pour avoir une bonne teneur d'irones. La composition en stéréoisomères de la fraction «irones» extraite à partir de l'iris est liée, en premier lieu, à l'espèce végétale mise en culture. En pratique, ce critère est évalué par le rapport cis-alpha irone/cis-gamma irone. Celui-ci est de 1.5 pour l'iris du Maroc (*I. germanica* L.) et de 0.5 pour celui d'Italie (*I. pallida* Lam.) le plus apprécié par les parfumeurs (Guenet, 1992).

Le Maroc exporte annuellement, 100 t environ de racines d'iris pour une valeur moyenne de deux millions de DH (Tableau 6). Trois marchés se partagent 97% des exportations marocaines: la France (70%), l'Italie (18%) et l'Allemagne (9.5%). Concernant les prix appliqués, on retrouve la même caractéristique, plusieurs fois soulignée. Ils varient d'un marché à l'autre. En moyenne pour les quatre campagnes (1999-2000 à 2002-2003), ces prix s'établissaient comme suit: 26 DH/kg pour l'Italie, 21 DH/kg pour l'Allemagne et 18 DH/kg pour la France.

**Tableau 6. Exportations marocaines en racines d'iris et mousse d'arbres**  
(en millions de DH) (EACCE, 1999-2000 à 2002-2003)

	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	Moyennes
Racines d'iris	1.59	2.04	2.17	2.21	2.00
Mousse d'arbres	0.83	1.02	1.43	1.27	1.14
Total	2.42	3.06	3.60	3.48	3.14

L'ensemble de ces données soulève trois remarques essentielles:

- Le Maroc est un producteur traditionnel d'iris, mais il continue toujours à exporter ce produit sous forme de matériel végétal brut. Pourquoi ne procède-t-on pas à l'extraction du beurre d'iris sur place avant l'exportation? Une première expérience dans ce domaine a été tentée au cours des années 70. Elle a échoué, mais l'échec a été dû, principalement, à des problèmes de gestion et de relations entre les partenaires du projet.
- Le marché reste trop concentré. N'est-il pas possible de le diversifier davantage?
- La différence des prix d'un marché à l'autre confirme cette caractéristique du secteur plusieurs fois soulignée.

#### 5.2.3.2. Mousse d'arbres

Il s'agit d'un mélange de deux lichens (*Evernia prunastri* Ach. et *E. furfuracea* Mann. (Bellakhdar, 1997) récoltés sur le chêne vert et sur le cèdre dans le Moyen-Atlas. Une partie de cette production est traitée au Maroc pour en extraire une concrète exportée sur le marché international pour les besoins de l'industrie de la parfumerie (Cf. § 5.1). Le reste de la production est exporté à l'état brut. Dans ce paragraphe, on traitera uniquement cette partie de la production.

Les valeurs globales des exportations ont été estimées, entre 1999-2000 et 2002-2003 à 1.14 millions de DH/an en moyenne pour un tonnage de 138 t/an. Le prix moyen pendant la même période était de 8.2 DH/kg.

Deux marchés se partageaient 90% environ de ces exportations: la France (68.2%) et les États-Unis d'Amérique (21.3%). Deux autres prenaient le reste: l'Espagne (5.7%) et l'Angleterre (4.4%). Les prix sont très variables selon les marchés: 15.7 DH/kg (USA), 12.4 DH/kg (Angleterre), 7.5 DH/kg (France) et 4.7 DH/kg (Espagne).

On retrouve ainsi, pour la mousse de chêne, les mêmes conclusions que dans le cas des racines d'iris: marché de destination restreint et importantes fluctuations des prix selon les marchés.

#### **5.2.4. Plantes médicinales**

Ce segment du secteur regroupe les plantes utilisées essentiellement pour leurs propriétés médicinales. La liste des plantes rentrant dans cette catégorie est longue. Elle contient au moins 25 produits différents. Par souci de simplification, on peut subdiviser ce groupe de produits en quatre sous-classes: les fleurs, les feuilles, les racines et les écorces.

Les fleurs représentent 4.2 millions de DH/an (moyenne de quatre campagnes 1999-2000 à 2002-2003). Les boutons de rose séchés représentent à elles seules plus de 88% de cette valeur. Viennent ensuite le coquelicot (4.4%), les pétales de rose (3.4%) et les fleurs de cactus (3%).

La sous-classe des feuilles correspond à un chiffre d'affaires moyen annuel de 3.05 millions de DH pour la même période. On y trouve les feuilles de vigne rouge (16.1%), les feuilles d'artichaut (15.9%), la fumeterre (14.7%), les feuilles d'olivier (14.6%), l'arenaria (10.9%), la centaurée (10.2%), le frêne (7.6%), le lierre (4.6%), la mauve (4.2%), etc.

Dans le groupe des racines, on trouve cinq produits représentant une valeur globale de 8.9 millions de DH/an. Les plus importants d'entre eux sont le pyrèthre (62.7%) et les racines de sarghine (*Corrigiola telephiifolia* Pour.) (32.6%).

Deux produits constituent la catégorie des écorces exportées pour leurs propriétés médicinales dont la valeur est faible (0.17 millions de DH). Il s'agit d'écorces de grenades et de bigarades.

La valeur globale de ce segment est ainsi estimée à 16.24 millions de DH/an.

Les marchés sont très diversifiés et varient d'un produit à l'autre. Dans l'ensemble, on trouve des marchés en Europe, en Afrique, au Moyen-Orient, en Asie, en Amérique du Nord, en Amérique Latine et en Australie.

### 5.2.5. Plantes industrielles

Les plantes, ou parties de plantes, qui composent ce segment du secteur sont exportées, sous forme de tonnage important, pour être utilisées dans des industries d'extraction. Ces dernières préparent à partir de cette matière première des molécules naturelles utilisées dans l'industrie pharmaceutique ou comme additifs alimentaires. On exclut ainsi de ce groupe les plantes dont les extraits sont destinés à l'industrie de la parfumerie et cosmétique (Cf. § 5.2.3). Parmi les exportations marocaines des PAM, trois produits peuvent être classés dans cette catégorie: Les orangettes séchées (68.5% en moyenne entre 1995 et 2003), les écorces d'oranges (31.1%) et les graines d'*Ammi visnaga* (0.4%) (Tableau 7)

**Tableau 7. Exportations marocaines des PAM**

Cas des plantes destinées aux industries d'extraction pour des besoins autres que la parfumerie et cosmétique (Valeurs en millions de DH)

	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	Moyennes
Orangettes séchées	3.88	9.98	5.14	4.20	5.80
Ecorce d'orange	3.36	2.45	1.83	2.90	2.64
Graines d' <i>Ammi visnaga</i>	0.019	0.088	0.017	0.011	0.033
Total	7.26	12.52	6.99	7.12	8.47

Les deux premiers produits (orangettes séchées et écorces d'orange) sont utilisés pour l'extraction des bioflavonoïdes. Il s'agit d'un groupe complexe comportant plusieurs produits dont l'hespéridine, la néohespéridine, la naringine, la rutine, la citrine, la cyanidine, la quercétine, etc. (voir pages 85-86).

Les bioflavonoïdes ont des propriétés voisines de celles de la vitamine C. Dans la nature, ils accompagnent toujours cette dernière et potentialisent son activité. Ils augmentent sa bio-disponibilité et la protègent contre l'oxydation. Ces produits sont doués de propriétés anti-oxydantes et anti-radicalaires et possèdent un pouvoir régulateur des taux de cholestérol et de triglycérides dans le sang. Les bioflavonoïdes joueraient ainsi un rôle important dans la prévention contre les maladies dégénératives comme les cancers, les maladies cardiovasculaires, l'ostéoporose ou les maladies inflammatoires. Les mêmes produits ont des actions protectrices vis-à-vis des capillaires sanguins et améliorent la circulation sanguine ([www.enerex.ca](http://www.enerex.ca)). Certains bioflavonoïdes (citrine, rutine, cyanidine, hespéridine) sont aujourd'hui connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires, anti-hémorragiques et anti-œdémateuses et donc vasoprotectrices. Ils sont utilisés en thérapeutique pour ces propriétés ([www.medicinedouce.com/impatient/fev03](http://www.medicinedouce.com/impatient/fev03)). Certains auteurs classent les bioflavonoïdes dans le groupe des vitamines et les appellent «vitamine P». La lettre «P» vient de «perméabilité» étant donné que ces produits améliorent la perméabilité des vaisseaux sanguins (<http://digilander.libero.it/danielefocosi/vitamins.html>).

Grâce à ces diverses propriétés, les bioflavonoïdes ont trouvé, ces dernières années, de nombreuses utilisations comme additifs (ou comme substances actives) dans des produits de santé. Ils sont ainsi commercialisés sous forme de complexes bioflavonoïdiques d'agrumes purs ou sous forme de vitamine C renforcée en ces produits.

Certains constituants des bioflavonoïdes d'agrumes ont trouvé des utilisations qui leur sont propres:

- L'hespéridine, extraite essentiellement à partir de la peau d'orange, est douée de plusieurs activités biologiques. Cette substance est en particulier connue pour son pouvoir régulateur du cholestérol et pour son activité anti-inflammatoire. Sa teneur dans un produit commercial à base de bioflavonoïdes détermine la qualité de ce dernier. L'hespéridine est la matière première pour la production de divers produits pharmaceutiques dont la diosmine recherchée pour ses propriétés anti-hémorroïdaires, vasculoprotectrices et veinotoniques ([www.vidalpro.net](http://www.vidalpro.net)). En 2000, Vidal a recensé pas moins de 41 spécialités pharmaceutiques contenant de la diosmine ([vidal.fr/médicament/diosmine](http:// Vidal.fr/médicament/diosmine)).
- La néohespéridine est le principal bioflavonoïde de l'orange amère.

Il a un pouvoir sucrant 340 fois celui du saccharose à la même concentration massique. La directive européenne relative aux édulcorants permet l'utilisation de ce produit comme additif alimentaire naturel sucrant ([www.ub.es/medame/sugar-eu.html](http://www.ub.es/medame/sugar-eu.html)). La néohespéridine est également utilisée pour masquer le goût amer de certains médicaments (Wenkatesh *et al.*, 2000). Le dérivé dihydrogéné de la néohespéridine (néohespéridine dihydrochalcone ou NHDC) est 1500 à 1800 fois plus sucrant que le saccharose. Il est ainsi utilisé comme édulcorant (E959) pour les régimes hypocaloriques (<http://science-citoyen.u.strasbg.fr/dossiers/additifs/html/liste/e959.html>).

- La naringine, un autre bioflavonoïde des agrumes, est utilisé dans l'industrie des boissons pour son goût amer ([www.evesa.com/product/nhdc.html](http://www.evesa.com/product/nhdc.html)).

Les diverses propriétés attribuées aujourd'hui aux bioflavonoïdes et les multiples utilisations qui en découlent (industries pharmaceutiques, additifs alimentaires, produits de santé) expliquent la place que prend les orangettes séchées et les écorces d'agrumes dans les exportations marocaines des PAM. L'essentiel de l'exploitation de cette ressource (sous-produits de l'agrumiculture) est encore réalisé sous forme d'exportation de produit végétal à l'état brut. L'extraction et la purification des bioflavonoïdes, sur place, peut constituer une voie pour une meilleure valorisation de ladite ressource.

Le troisième produit du segment, les graines d'*Ammi visnaga*, n'occupe aujourd'hui qu'une place secondaire. Il est utilisé essentiellement pour la production de la khelline et de la visnadine recherchées par l'industrie pharmaceutique pour leurs propriétés pharmacologiques. La khelline est un produit antispasmodique préconisé dans les traitements des angines d'origine coronarienne, de l'infarctus du myocarde, des spasmes gastro-intestinaux et des lithiases urétrales. La visnadine est préconisée dans les traitements des insuffisances circulatoires chroniques.

Les exportations marocaines en graines d'*Ammi visnaga* ont toujours été très fluctuantes d'une année à l'autre et sont en perte continue depuis 1995. De deux millions de DH environ en 1995-1996, on est tombé à 33 mille DH/an, en moyenne, entre 1999-2000 et 2002-2003 (Cf. Tableau 7). Dans une telle situation, il est difficile de faire un pronostic quelconque sur ce produit.

### 5.2.6. Vue d'ensemble des exportations des PAM et dérivés

Les données relatives à l'ensemble du secteur (HE, EA et PAM) sont regroupées dans le tableau 8. Il ressort de ces données que plus de 58% des recettes de cette branche d'activité sont réalisées par des produits destinés au secteur alimentaire (épices et aromates). Ce taux dépassera les deux tiers si on tient compte des plantes dites à intérêt industriel qui sont utilisées pour la production d'additifs alimentaires. En deuxième position, on trouve les plantes et extraits de plantes destinés à la parfumerie, cosmétique et industries similaires (HE, EA et plantes à parfum) avec 34% du chiffre d'affaires du secteur. Les plantes utilisées pour leurs propriétés médicinales ne représentent, malgré leur diversité, qu'environ 5% des recettes des exportations marocaines en PAM et dérivés.

Certes, ces chiffres sont approximatifs: une partie des produits du segment «aromates» est utilisée pour les propriétés médicinales de ces derniers, une partie des HE et EA est utilisée dans le secteur alimentaire (HE de menthe et formulation d'arômes, résinoides du piment doux), etc. Cependant, le résultat global ne doit pas changer cette donnée générale. Au moins en ce qui concerne l'expérience marocaine, l'essentiel des recettes du secteur des PAM est réalisé dans le marché de l'alimentaire: épices, aromates et produits d'arômes et d'additifs alimentaires (plus de deux tiers du chiffre d'affaires du secteur). Le marché des parfums, cosmétiques et produits similaires représente une bonne part du reste. La part des plantes utilisées pour leurs propriétés médicinales est faible.

**Tableau 8. Exportations marocaines annuelles (moyennes de 1995 à 2003) du secteur des PAM et dérivés (millions de DH)**

	Valeurs	%
Épices et produits similaires	107.0	33.7
Aromates	077.2	24.4
Total alimentaire	184.2	58.1
Plantes industrielles	008.7	02.7
HE et EA	104.2	32.9
Plantes à parfums	003.4	01.1
Total «parfum, cosmétique et similaires»	107.6	34.0
Plantes à utilisations médicinales	16.24	05.1
<b>Total</b>	<b>316.7</b>	<b>100</b>

## 6. CONCLUSIONS

L'expérience marocaine dans le domaine d'exploitation des PAM présente certaines caractéristiques du marché international décrites dans le chapitre précédent. Il s'agit d'un secteur très diversifié. Il est diversifié par ses matières premières et ses produits, par les marchés utilisateurs de ces derniers ainsi que par les technologies mises en œuvre.

Il a également été souligné, dans le chapitre précédent, que le marché international des PAM et dérivés est habituellement très fluctuant, aussi bien en ce qui concerne les demandes (volumes et nature) que les prix. Les exportations marocaines n'échappent à cette réalité du marché.

La profession d'exploitation des PAM au Maroc dispose de nombreux atouts pour son épanouissement:

- Elle dispose d'une flore riche et variée à endémisme très marqué. De nombreuses espèces, exploitées au Maroc pour leurs propriétés aromatiques et/ou médicinales sont typiquement marocaines. Dans la catégorie des HE, on peut citer plusieurs produits qui ont été réalisés, pour la première fois au Maroc et pour lesquels, ce pays reste toujours le seul fournisseur du marché international: HE d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso), de thym de Terguiste (*Origanum elongatum* Emb. et Maire), de «camomille» bleue du Maroc (*Tanacetum annuum* L), de «camomille» sauvage du Maroc (*Ormenis mixta* ssp. *multicaulis* (L.) Dumt.), etc. Dans la filière des PAM séchées également, plusieurs produits peuvent être considérés comme une réussite de la profession à mettre en valeur des produits typiquement marocains: le thym du Maroc (*Thymus satureoides* Coss.), l'origan du Maroc (*Origanum compactum* Benth), les graines de coriandre du Maroc (*Coriandrum sativum* L., variété marocaine), etc.
- Les Marocains disposent déjà d'une grande tradition dans le domaine d'exploitation industrielle de la ressource végétale aromatique et/ou médicinale de leur pays. Cette tradition permet aux professionnels d'aujourd'hui d'avoir leur propre mode d'organisation (quelle que soit sa faiblesse) qui leur permet de

réaliser les productions souhaitées, parfois dans des conditions naturelles, administratives et socio-économiques très difficiles. Cette tradition a permis, par ailleurs, aux professionnels de tisser des relations d'affaires, à l'échelle internationale, efficaces.

- Les produits marocains dans le domaine des PAM et dérivés sont connus sur le marché international. Ceci facilite, sans nul doute, l'accès à ce marché. La proximité de certains marchés importants (France, Espagne, Allemagne, Suisse ...) ne peut qu'aider au développement de ce secteur.

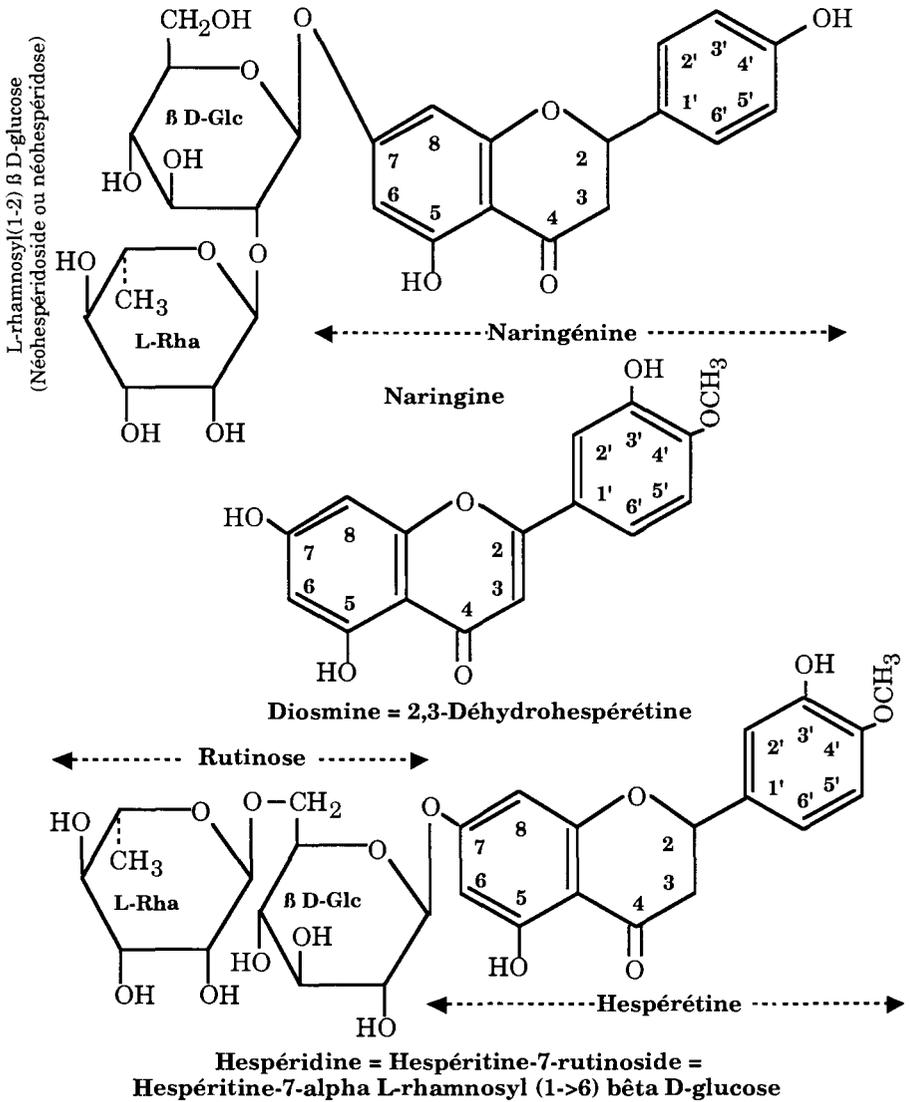
Malgré les atouts dont elle dispose, la profession d'exploitation des PAM au Maroc souffre de faiblesses structurelles réelles. Ces faiblesses résident dans la structure de la profession elle-même (émiettement, sous-encadrement et insuffisance d'organisation professionnelle), dans le système de production ainsi que dans les technologies mises en œuvre:

- Le marché international essaie, depuis des années, à s'organiser pour faire face à son handicap majeur, à savoir les fluctuations des demandes et des prix d'une année à l'autre. Deux démarches principales ont ainsi été entreprises. Les multinationales ont essayé de résoudre le problème en procédant à une intégration verticale de toute la chaîne de production depuis la matière végétale jusqu'au produit livré à l'utilisateur final voire jusqu'au consommateur directement. La deuxième démarche a été mise au point en France. Elle consiste à regrouper les différents acteurs, depuis la production agricole jusqu'au produit industriel fini, sous une forme de «coopérative(s)» particulière(s) (Cf. § 5.2.1.3). Quant aux professionnels marocains, ils subissent les effets de ces fluctuations (avec parfois des dégâts importants) sans aucune capacité de réagir.
- Dans de nombreux pays, en particulier dans les pays développés, le secteur des PAM, s'appuie, de plus en plus, sur une activité de R-D dynamique et productive. Au Maroc, cette activité reste limitée et surtout avec peu d'effets sur la profession. D'une part, celle-ci, s'intéresse peu à cette activité et à ses résultats et, d'autre part, la structure de la profession et son niveau d'encadrement ne facilitent ni la vulgarisation des produits de R-D, ni l'orientation de cette dernière.

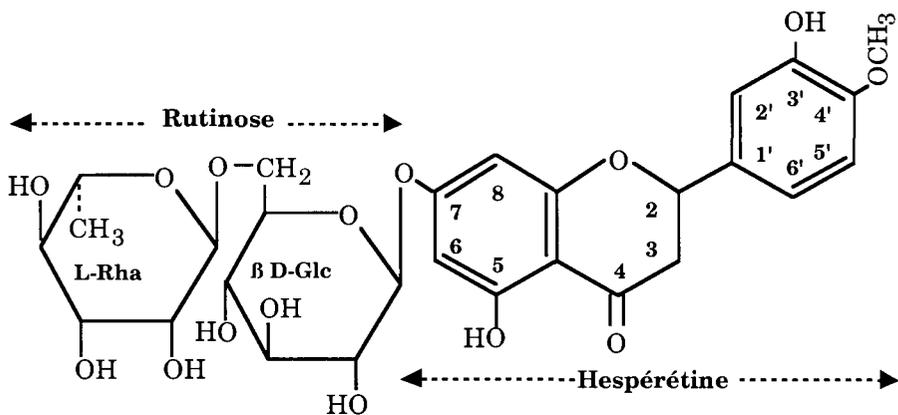
- Le secteur des PAM, à l'échelle internationale, est très ouvert sur les innovations: nouvelles technologies, nouveaux produits, nouveaux modes d'organisation, etc. La profession marocaine est souvent restée attachée à son «héritage» technologique, commercial et organisationnel. Encore une fois, la structure de ladite profession ne facilite pas la diffusion de l'innovation.

Cependant, malgré ses faiblesses, le secteur réalise des résultats intéressants. Les résultats globaux du secteur sont en progression continue. Les exportateurs marocains ont fini par pénétrer de nouveaux marchés, au moins pour certains produits (marchés américains, asiatiques, etc.).

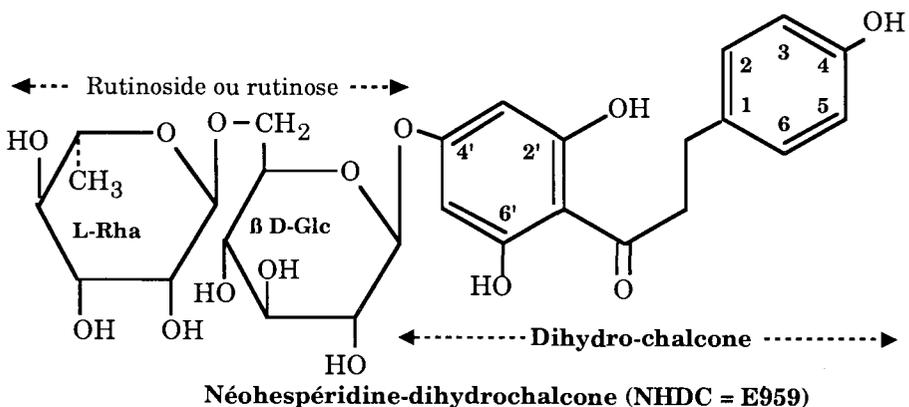
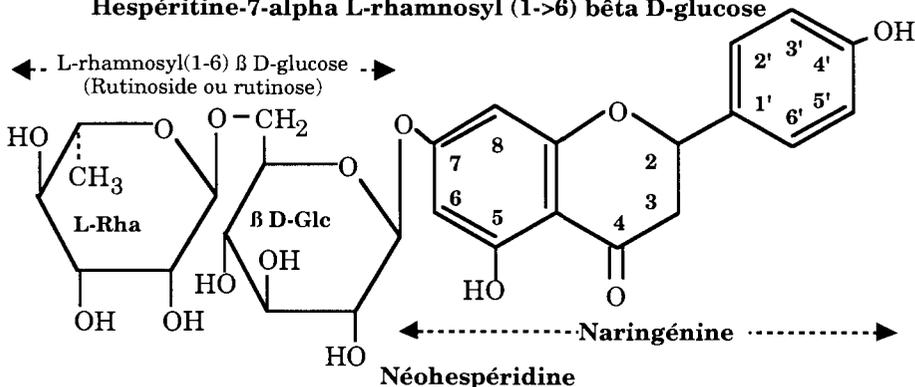
La profession a réussi à mettre en valeur de nouvelles niches de produits. Toutefois, les possibilités du secteur des PAM sont bien plus importantes que les réalisations actuelles.



Structure de quelques bioflavonoïdes



**Hespérétine = Hespérétine-7-rutinoside =  
Hespérétine-7-alpha L-rhamnosyl (1->6) bêta D-glucose**



**Structure de quelques bioflavonoïdes (suite et fin)**

D'après Ettalibi (2004)

## **STRATÉGIE POUR LE DÉVELOPPEMENT DU SECTEUR DES PAM**

### **1. INTRODUCTION**

Le chapitre précédent a été consacré à l'analyse d'une expérience, celle du Maroc, quant à la mise en valeur des ressources naturelles en PAM. Plusieurs faiblesses, de ladite expérience, ont ainsi été mises en évidence. On a, en particulier, souligné une activité de recherche-développement faible (par comparaison à ce qui se fait dans d'autres pays concurrents), une technologie souvent artisanale et dépassée ainsi qu'une faible adéquation avec les exigences et les opportunités du marché international.

Dans ce chapitre, on essaiera de tracer les grandes lignes d'une politique volontariste pour une meilleure dynamisation du secteur. Cette politique, dont la réalisation engagerait la profession, les centres de recherche et les pouvoirs publics concernés par le secteur, s'articule autour de quatre axes principaux et complémentaires entre eux, à savoir une politique de recherche-développement organisée et efficace, une bonne connaissance du marché international avec une adaptation continue aux exigences et opportunités de ce dernier, une politique adéquate pour le choix des produits et des systèmes de production et une modernisation des technologies mises en œuvre.

### **2. VALORISATION DU POTENTIEL NATUREL**

Pour une valorisation optimale du potentiel naturel existant, il est nécessaire d'élaborer et exécuter un programme de recherche-développement (R-D) spécifique avec des objectifs précis. En effet, la valorisation des ressources aromatiques et médicinales passe d'abord et avant tout par la connaissance de ces dernières. Jusqu'au début des années 80, on ne disposait, pour le secteur des PAM au Maroc, pratiquement pas de données ni scientifiques ni techniques. On ignorait presque tout sur ce qui a été, pendant longtemps, produit

au Maroc et commercialisé sur le marché international. Pourtant, les problèmes pratiques ne manquaient pas. Plusieurs laboratoires de recherche se sont ainsi intéressés au sujet. Toutefois, en absence de toute orientation, les préoccupations étaient, et sont encore, très variables d'un laboratoire à un autre.

## **2.1. Exemples de travaux déjà réalisés**

Les exemples cités dans ce qui suit ont été sélectionnés, à titre d'exemples, pour leurs liaisons directes avec les problèmes du secteur et de la profession. L'objectif n'est pas de faire un inventaire exhaustif de ces travaux, mais de montrer, à l'aide d'exemples précis, le type de recherche souhaitée pour le développement du secteur et la nature des problèmes à résoudre.

### **2.1.1. *Maîtrise de la qualité commerciale des produits***

La variabilité des qualités commerciales des produits posait des problèmes sérieux à la profession. Tel est le cas de l'huile essentielle d'armoise et, à un degré moindre, celle du romarin. Rappelons que le Maroc reste le principal (si non l'unique) fournisseur mondial d'huile essentielle d'armoise blanche. Les premières productions ont été réalisées dans la région de Marrakech. Elles étaient caractérisées par un parfum et un arôme donnés dus essentiellement à une composition chimique équilibrée en alpha-thujone et camphre (30 à 35 % de l'huile essentielle pour la première cétone contre 34 à 38% pour la seconde). Les utilisateurs de ce produit (essentiellement la parfumerie de haut de gamme) ont été habitués à ce dernier. L'augmentation de la demande pour l'HE de l'armoise blanche, sur le marché international, a obligé les producteurs à distiller la même plante récoltée dans d'autres régions dans le Haut-Atlas et l'Anti-Atlas. La qualité commerciale telle qu'elle est définie par le «standard» déjà connu (armoise de la région de Marrakech) a alors commencé à se poser et menacer sérieusement le produit. Il a fallu attendre les années 80 pour comprendre, grâce aux premières recherches dans le domaine, qu'il s'agit d'un phénomène de «polymorphisme chimique» de l'espèce qui est non seulement maîtrisable pour standardiser la production recherchée, mais il permet même d'avoir plusieurs produits de caractéristiques différentes (Benjilali & Richard, 1980; Benjilali *et al.*, 1984; Lamiri *et al.*, 1997a et 1997b). L'HE du romarin du Maroc est à 1,8-cinéole.

La qualité standard de ce produit doit titrer entre 45 et 50 % de 1,8-cinéole et moins de 10 % de camphre. Or, il arrive parfois que la production marocaine présente un taux de cinéole trop bas (moins de 40 %) et/ou un taux de camphre trop élevé. Les récents travaux de recherche ont montré qu'il existe dans le romarin du Maroc au moins trois chemotypes différents: un à 1,8-cinéole, le plus abondant dans l'Oriental marocain et un deuxième à camphre particulièrement abondant dans la région de Taforalt (El Amrani *et al.*, 1994; El Amrani, 1999). Le troisième est à alpha-pinène particulièrement abondant dans le Rif cento-occidental (Fechtal *et al.*, 1997). Le risque de mélange de productions provenant de chemotypes différents explique, au moins en partie, les fluctuations susceptibles d'être observées quant aux qualités commerciales des produits obtenus. Par ailleurs, d'autres études ont montré que la composition chimique de l'HE du romarin du Maroc dépend de la période de récolte (El Amrani *et al.*, 1997 a et b). Sans la maîtrise de toutes ces données scientifiques, il est normal que la qualité du produit final et, par conséquent, l'image de marque de la production marocaine sur le marché international, restent aléatoires.

Ces difficultés de maîtrise de la qualité commerciale expliquaient (et expliquent encore) en grande partie la discordance souvent observée entre l'abondance d'une biomasse végétale largement excédentaire et un besoin extrêmement pressant des distillateurs et exploitants en matière première pour la distillation par exemple. L'armoise et, à un degré moindre, le romarin ne sont que des exemples. On peut dire la même chose pour le myrte (Assaf, 1995), l'origan (Benjilali *et al.*, 1986), etc.

### **2.1.2. Maîtrise des nomenclatures utilisées**

Des confusions extraordinaires existaient dans la nomenclature des produits même chez les grands spécialistes des HE à l'échelle internationale. Ainsi, on trouvait, dans des revues scientifiques internationales de haut niveau, des publications sérieuses sur la composition des HE d'*Artémisia vulgaris* produites au Maroc alors qu'il n'y a pas un seul pied de cette espèce dans ce pays. La raison est simple: en France et dans le langage commun, on appelle «armoise», l'espèce *A. vulgaris* qui n'a d'ailleurs pratiquement pas d'intérêt commercial. Son HE est trop riche en bêta-thujone réputée, à tort ou à raison, d'être particulièrement toxique. L'armoise blanche

du Maroc, *A. herba-alba* Asso et *l'A. vulgaris* font partie du même genre botanique, le genre «*Artemisia*», mais ce sont deux espèces différentes qu'il ne faut absolument pas confondre. Le «chiba» bien connu au Maroc comme plante aromatique de culture a été traduite en français, par on ne sait qui, comme étant «l'absinthe» (*A. absinthium*), ce qui est totalement faux. Chiba est *l'A. arborescens* L. Or, pendant longtemps, cette plante ne pouvait pas être exploitée industriellement parce que la commercialisation de l'absinthe est contrôlée dans beaucoup de pays européens comme en France par exemple. On trouve également sur le marché international des HE, un produit dit «HE de camomille sauvage du Maroc» qui étonne par sa particularité organoleptique et par sa composition chimique. En fait, la plante dite «camomille sauvage du Maroc» n'a de commun avec la vraie camomille romaine que l'appartenance à la même famille, celle des composées. L'HE de «thym de Terguiste du Maroc» était également bien connue et très appréciée sur le marché international. La tentation était souvent forte de considérer ce produit comme «*Thymus vulgaris* du Maroc». Or, l'espèce concernée n'est même pas un *Thymus*, mais un *Origanum* endémique du Maroc (*O. elongaum* Emb. et Maire).

### **2.1.3. Corrections d'idées et de propositions erronées**

Des confusions plus graves se retrouvent encore aujourd'hui dans certains écrits, rapports et discours d'auteurs marocains. Ces confusions risquent d'induire en erreur les nouveaux investisseurs dans le domaine ou même les professionnels déjà en place qui cherchent à diversifier leurs productions et élargir leur domaine d'action. Les exemples sont malheureusement nombreux. Citons quelques-uns parmi les plus significatifs:

- L'exploitation de la biomasse foliaire d'eucalyptus pour la production d'HE à 1,8-cinéole utilisée dans l'industrie pharmaceutique, en parfumerie, cosmétologie, aromatisation alimentaire etc. L'idée repose certainement sur quatre données réelles. On estime, en effet, que les plantations d'eucalyptus couvrent environ 200.000 ha destinés à la production du bois. D'un autre côté, le Maroc importe chaque année environ 2 t d'HE d'eucalyptus (moyenne sur 6 ans: 1994 à 1999) pour une valeur moyenne de 223 mille DH (moyenne sur la même période). Le volume du marché international dépasse aujourd'hui les 1.500 t par an. Le feuillage, sous-produit d'exploitation des plantations

d'eucalyptus au Maroc et qui n'a pratiquement aucune valeur, pourrait être utilisé pour la production d'HE pour le marché national et surtout pour le marché international. Mais on oublie dans tout ce raisonnement que les plantations d'eucalyptus au Maroc sont faites essentiellement de l'espèce *E. camaldulensis* qui donne un rendement en HE très faible (4 kg la tonne environ contre 20 kg la tonne pour l'*E. globulus* espèce de référence sur le marché international). La qualité commerciale (composition chimique) est également médiocre (Zrira, 1992; Zrira *et al.*, 1992; Zrira *et al.*, 1990; Zrira & Benjilali, 1989, 1991a et 1991b). Il n'y a aucune chance de réussir au Maroc, à partir des plantations existantes, une production d'HE d'eucalyptus à 1,8-cinéole, économiquement viable.

- L'exploitation des deux lavandes abondantes au Maroc à l'état spontané (*Lavandula stoechas* et *L. dentata* L.) pour la production d'HE destinée au marché international. Malheureusement, ces deux espèces donnent des HE riches en camphre ou en fenchone (Zrira & Benjilali, 2003) qui n'ont aujourd'hui aucune valeur sur le marché international. Il ne faut surtout pas les confondre avec la lavande vraie (*Lavandula officinalis*) cultivée en France ou l'aspic (*L. latifolia*) produite en Espagne et dans d'autres pays de l'Europe de l'Est ou encore moins avec le lavandin, hybride des deux espèces précédentes (Veyan, 2000).
- L'exploitation des euphorbes. Il est vrai que certaines espèces d'euphorbes sont recherchées aujourd'hui pour l'extraction de latex demandé par l'industrie pharmaceutique. Des demandes ont déjà été exprimées dans ce sens par des clients potentiels en Italie et aux États-Unis d'Amérique. Mais l'administration des eaux et forêts a été catégorique. Les espèces recherchées sont protégées à l'échelle internationale et il est hors de question d'envisager la mise en exploitation industrielle des peuplements naturels. Le seul moyen éventuellement possible serait la mise en culture de ces espèces dans des plantations artificielles réservées à cet objectif. Ceci n'existe pas encore.
- Naânaâ labdi et menthe poivrée. On entend souvent parler de culture de menthe poivrée en supposant qu'il s'agit du «naânaâ labdi» bien connu au Maroc. Même des publications scientifiques sérieuses peuvent faire de telles confusions (Bellakhdar, 1997). Naânaâ labdi n'est pas l'espèce *Mentha piperita* ni du point de vue botanique, ni surtout du point de vue chimique. L'HE de Naânaâ labdi est riche en linalol au lieu du menthol (constituant principal

et noble de l'HE de la menthe poivrée). Il s'agirait plutôt d'une variété (ou d'un chemotype) de menthe verte: *M. viridis* ou de *M. arvensis*. Par ailleurs, la culture de la vraie menthe poivrée pose d'autres problèmes (voir § 4.1). Il existe bien d'autres exemples de ce type de confusions et d'imprécisions qui n'aident en rien à l'établissement d'une vision claire pour le secteur.

Le potentiel existant est, cependant, bien plus riche et plus diversifié que ce qui est aujourd'hui effectivement exploité. La valorisation de ce potentiel naturel suppose, aujourd'hui, des connaissances scientifiques précises.

## **2.2. Exemples de travaux de recherches à réaliser**

Les axes décrits dans ce paragraphe ne sont que des exemples de travaux absolument nécessaires pour une meilleure valorisation du potentiel naturel des PAM au Maroc.

### **2.2.1. *Fiches techniques et standardisation des produits***

Actuellement, on connaît un bon nombre d'HE produites au Maroc à l'échelle industrielle. On connaît leur composition, les conditions et lieu de production, les espèces botaniques effectivement mises en valeur, la notion de qualité (= standard) chez les clients au niveau du marché international etc. Des fiches techniques doivent être élaborées pour définir les produits et standardiser les relations entre les producteurs et négociants marocains, d'une part, et les clients étrangers, d'autre part. Des normes doivent être établies pour tous les produits marocains et, surtout, pour ceux dont le Maroc est le principal fournisseur. Des avant-projets dans ce sens ont déjà été élaborés à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II pour quelques produits, mais ce travail reste préliminaire. Il mérite d'être poursuivi pour confirmation, grâce à un nombre d'échantillons suffisant et doit, par ailleurs, être étendu aux autres produits. C'est un travail de longue haleine qui, lui seul, permettrait de fixer de façon précise les caractéristiques et standards des produits marocains.

Ainsi, la variabilité de la qualité commerciale de divers produits peut être maîtrisée et la gamme des offres enrichie et diversifiée. Sans ce travail, fin et minutieux, la production marocaine des HE

restera toujours du domaine de l'artisanat: production aléatoire tant en qualité qu'en tonnage. Quand c'est nécessaire et possible, une carte chimiotaxonomique d'une espèce donnée doit être établie. Il s'agit de dire d'une façon aussi précise que possible, et pour chaque espèce végétale spontanée à intérêt aromatique et/ou médicinal, dans quelle région pourrait-on produire tel ou tel chimotype (= une qualité commerciale donnée)? Des cartes de ce type ont déjà été établies pour l'armoise blanche (Benjilali *et al.*, 1984; Benjilali *et al.*, 1985; Lamiri *et al.*, 1997a) ainsi que pour certains thyms du Maroc (Benjilali *et al.*, 1987 a et b ). Il s'agit d'un travail lourd et coûteux, mais qui facilite grandement le travail des professionnels pour la mise en valeur durable des ressources naturelles.

### **2.2.2. Sélection, mise en culture et diversification de la production**

L'analyse du «polymorphisme» chimique (= chimiotaxonomie) des espèces aromatiques a révélé, pratiquement toujours, qu'il s'agissait d'un phénomène génétique (Lamiri *et al.*, 1997b). Ceci ouvre la voie à de grands chantiers pour les travaux de sélection et mise en culture en vue de la maîtrise et de la diversification des produits à partir d'une même espèce donnée. L'armoise blanche est, une fois encore, un excellent exemple dans ce domaine. En effet, dans la région de Marrakech ainsi que dans certaines régions du Haut-Atlas central on peut produire cette HE, qualité standard (= chimotype à alpha-thujone et camphre). Un mélange correctement dosé entre une HE produite dans la région de Taliouine et une autre provenant de la région de Ouarzazate permet d'obtenir la même qualité standard. L'armoise de la région de Saghro donne une HE à davanone. C'est un produit connu sur le marché international. Il est utilisé essentiellement pour la formulation d'arômes. L'Inde est aujourd'hui le seul fournisseur mondial de ce produit. Ce dernier est préparé à partir d'une autre espèce d'*Artemisia* (*A. pallens*). Dans la région de Sidi Hamza (plateaux de l'Oriental), on peut produire une HE à acétate de chrysantényle. Il s'agit d'un produit tout à fait nouveau qui pourrait trouver une place sur le marché international. Dans les régions d'Agdz, Kalaât M'gouna, Tinjdad, Errachidia, on peut produire une HE riche en alpha-thujone. Sur l'Anti-Atlas, particulièrement dans la région de Taliouine, on obtiendra plus facilement une HE d'armoise à camphre, etc.

En résumé, à partir de la même espèce on peut produire différents standards d'HE qui pourraient trouver des applications industrielles particulières. Pour une meilleure maîtrise de la qualité et de la quantité produite, pour chaque chimotype, la sélection et la mise en culture constituent un choix judicieux (Encadré 10).

Cette démarche a été suivie en France, par exemple, pour sélectionner, cultiver et produire différents types d'HE de *Thymus vulgaris* (thym à thymol, thym à carvacrol, thym à linalol, ...) (Iteipmai, 1989).

### **2.2.3. Mise au point de nouveaux produits**

On a déjà souligné que, d'une part, le marché international est très ouvert à de nouveaux produits (Cf. Chapitre 1) et, d'autre part, la flore aromatique et médicinale marocaine est riche et diversifiée avec un endémisme très marqué (Cf. Chapitre 2). Les professionnels marocains ont l'habitude d'innover dans ce domaine. Des produits inconnus sur le marché des HE ont été mis au point au Maroc et commercialisés sur le marché international. Plusieurs exemples ont déjà été cités: les HE de *Tanacetum annuum* L (tanaïse annuelle du Maroc = tanaïse bleue du Maroc = camomille bleue du Maroc) (Benjilali *et al.*, 1989; Grech *et al.*, 1997), d'*Ormenis mixta* dite camomille sauvage du Maroc (Rahho, 2003), d'*Artemisia herba-alba* Asso ou armoïse blanche, etc.

De nouveaux produits similaires ont été mis en évidence, récemment, et peuvent toujours trouver leur place sur le marché des PAM et leurs dérivés. *Tetraclinis articulata* Vahl (thuya de berberi) est un exemple. En effet, on peut, pour cet arbre, produire des HE commercialement intéressantes à partir de la biomasse verte (GEF-Rif 2, 1997 et GEF-Rif 4, 1998) ou à partir de la sciure de son bois (Touayli, 2002).

Dans d'autres cas, on rencontre des produits qui sont classiques sur le marché international, mais méconnus des professionnels marocains malgré l'abondance de la matière première. On peut citer, à titre d'exemples, les HE de l'*Inula graveolens* (Inule odorante) (GEF-RIF2, 1997), du *Cistus ladaniferus* L. (ciste ladanifère) (M'rabet *et al.*, 1996; 1997; GEF-RIF3, 1997; GEF-RIF4, 1998), du *Pistacia lentiscus* L. (lentisque) (GEF-RIF3, 1997).

**Encadré 10. Rentabilité des cultures des PAM (Cas du romarin)**
**1. Coûts annuels**

## Investissement

Terrain	Gratuit <sup>(1)</sup>		
Travaux de terrain	Nombre d'unités <sup>(4)</sup>	Coûts unitaires	Coût total
1 <sup>er</sup> labour	2.5h	100 <sup>(5)</sup>	250
Epierreage et nettoyage	5h		31.25
Engrais N-P-K (8-15-15)	300kg	120 <sup>(5)</sup>	720
Epannage d'engrais	1 Jt	50 dh <sup>(5)</sup>	50
2 <sup>ème</sup> labour	2h	100 <sup>(5)</sup>	200
<b>Plantation</b>			
Récolte et préparation des plants	10.000 plants	1 <sup>(5)</sup>	10.000
Transport	10.000 plants	0.5 <sup>(5)</sup>	5.000
Mise en place des plants	10 Jt	50 dh <sup>(5)</sup>	500
<b>Investissement total</b>			<b>16.751</b>
<b>Amortissement sur 10 ans</b>			<b>1.675</b>
<b>Charges fixes par an</b>			
Entretien des plantations	4h	6.25 <sup>(5)</sup>	25
Engrais	300 kg	120 <sup>(5)</sup>	720
Récolte	10 Jt	50 <sup>(5)</sup>	500
Frais de distillation <sup>(2)</sup>	12 Jt	100 <sup>(5)</sup>	1.200
Frais de séchage, nettoyage & conditionnement en vrac <sup>(3)</sup>	1.5 à 2.5t de produit fini	2 dh/kg de produit fini	3000 à 5000
Charges fixes totales / ha . an (HE)			2.445
Charges fixes totales / ha . an (PS)			4245 à 6245
Charges totales / ha . an (HE)			4.120
Charges totales / ha . an (PS)			5910 à 7910

**2. Recettes annuelles**

Produits	Productions par ha	Valeur unitaire (dh/kg)	Valeur totale (dh/ha)
Feuilles séchées	1.5 <sup>(4)</sup> à 2.5 <sup>(6)</sup> t	9.1 <sup>(8)</sup>	13.650 à 22.750
HE	40-60 <sup>(7)</sup> à 100 <sup>(6)</sup> kg	180 <sup>(9)</sup>	7.200 à 18.000

(1): On admet que le terrain, pour la culture du romarin, peut être mis à la disposition des investisseurs par l'État. Ce sont des terrains qui relèvent du domaine forestier (domaine de l'État). La culture du romarin est une forme de reboisement de terrains dégradés; (2): On ne tient pas compte de l'amortissement du matériel de distillation dont les coûts sont très variables; (3): Bhija (2000) donne tous les éléments nécessaires au calcul de cette opération à l'aide d'un séchoir à capteur d'énergie solaire (2 dh/kg). L'Iteipmai estime les frais de séchage pour l'origan, en France à l'aide d'un séchoir à propane à 2.7FF kg de produit fini; (4): Iteipmai (1991); (5): frais estimés d'après les données du marché marocain en 2004; (6): Données établies par l'INIA et rapportées par Muñoz (1987); (7): Muñoz (1987); (8): Valeurs des exportations marocaines (moyennes de 4 campagnes: 1999-2000 à 2002-2003); (9): Valeurs des exportations marocaines (moyennes de 2 campagnes)

Les compositions chimiques de ces produits ont été définies. Les techniques d'élaboration ainsi que les potentialités des ressources naturelles, qui leur correspondent, ont été établies. Des tests d'évaluations auprès de certains utilisateurs étrangers potentiels ont été réalisés. Ce sont des exemples que la profession doit prendre en considération pour être toujours capable d'innover et de s'adapter à un marché en changement perpétuel à l'échelle internationale. Une bonne politique commerciale (régularité de qualité, de prix et de l'offre) et de marketing devrait permettre le développement du marché de ces différents produits ou, au moins, d'une partie d'entre eux. *L'Ammi visnaga*, exploitée au Maroc sous forme de semences destinées en totalité à l'exportation, donne une HE de caractéristiques olfactives très particulières. Plusieurs maisons étrangères expriment un intérêt pour ce produit. Une petite production, aléatoire, existe déjà au Maroc. Son développement sera possible si on met l'effort nécessaire pour standardiser la production (problème de constance de qualité) et définir une politique de prix et de marketing adéquate. D'autres produits pourraient, de la même façon, être définis et testés.

Certains segments importants de la filière sont encore peu valorisés par les professionnels marocains. C'est le cas d'extractions par solvants organiques ou par le CO<sub>2</sub> supercritique (Chapitre 5) pour la production de concrètes, résinoïdes, absolues, antioxydants et bien d'autres produits. Tous ces extraits intéressent aussi bien les domaines des industries alimentaires et de la santé que ceux de la parfumerie, cosmétique et produits d'hygiène. Certains produits exportés sous forme de matériel végétal brut peuvent être valorisés sur place par extraction de principes actifs et extraits utilisés par diverses industries (§ 5.2.3 et 5.2.5, Chapitre 2)

#### **2.2.4. Sauvegarde des espèces et peuplements naturels**

Le système de production, décrit précédemment (§ 2, Chapitre 2), peut porter préjudice à certaines espèces et peuplements naturels fragilisés par une exploitation non maîtrisée. On a déjà signalé le cas de *Ormenis mixta* ssp. *multicaulis* (§ 5.1.1, Chapitre 2). Il s'agit d'une espèce endémique du Maroc. Par conséquent, ce pays reste le fournisseur unique de l'HE de cette espèce. Or, la sauvegarde et le développement de cette production exigent la remise en question de la technique d'exploitation actuelle qui menace les peuplements

spontanés actuellement mis en valeur dans la région du Gharb. La plante est arrachée en pleine floraison, avant la formation des semences, seuls moyens de reproduction de l'espèce. Il y a urgence de trouver un remède à cette situation. La mise en culture de l'espèce peut être un choix radical, mais encore faut-il mettre au point les techniques culturales adaptées (Encadré 11).

### **Encadré 11. Techniques culturales des PAM**

La mise en culture des PAM, pour des objectifs industriels, suppose la maîtrise de la technique culturale adaptée à chaque espèce.

Pour certaines espèces, ces techniques existent déjà et ont été publiées par divers centres de recherche spécialisés: Iteipmai (Institut technique interprofessionnel des plantes médicinales, aromatiques et industrielles) en France, l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) en France, l'INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias) en Espagne, ...

Le romarin est un des exemples de ces espèces largement étudiées et pour lesquelles les techniques culturales sont parfaitement établies:

#### **1. Milieu et sol**

L'Iteipmai (1991) recommande des sols argilo-calcaires, bien exposés au soleil du midi. Éviter les sols trop calcaires. Le romarin peut valoriser des terrains pauvres, mais se développe bien sur des terrains profonds. La culture du romarin peut rester sur place pendant 10 ans (Muñoz, 1987)

#### **2. Multiplication**

La culture du romarin peut se faire par semis ou par voie végétative. Cependant, la multiplication végétative par bouturage est la plus largement utilisée. L'installation de pépinière peut se faire en mars-avril ou en septembre-octobre (Iteipmai, 1991; Muñoz, 1987). La plantation définitive peut se faire en automne ou au printemps suivant.

#### **3. Densité de plantation**

15.000 à 20.000 pieds par hectare (Muñoz, 1987) à 10.000 pieds/ha (Iteipmai, 1991).

#### **4. Fumures et engrais chimiques, lutte contre les maladies et ravageurs,...**

Les fiches des techniques culturales citées précédemment (Iteipmai, 1991; Muñoz, 1987) donnent un ensemble de recommandations concernant toutes ces questions.

Pour d'autres espèces, particulièrement intéressantes pour les producteurs marocains, par exemple, ce travail reste à faire. Parmi ces espèces, on a déjà cité: l'armoise blanche (sélection et technique culturale), *Origanum elongatum*, *Ormenis mixta*, *Origanum compactum*,...

Le système d'adjudication actuel, pour les produits spontanés (romarin, armoise, etc.), est néfaste pour la profession et pour la ressource. La concurrence, très sévère, entre les exploitants peut menacer la ressource. La façon de gérer l'opération ne permet pas aux professionnels d'établir des relations de confiance avec leurs clients étrangers. Cette relation exige une régularité de l'offre tant en quantité qu'en qualité (Cf. Encadré 8). Ce système doit être absolument revu, mais celui qui pourrait le remplacer n'est pas encore disponible.

### **2.2.5. Meilleure valorisation des produits de cueillette**

La cueillette des plantes spontanées doit être maîtrisée, non seulement pour la sauvegarde de la ressource (§ 2.2.4), mais également pour améliorer les rendements et la qualité des produits élaborés. À titre d'exemple, les rendements en huiles essentielles du romarin dépendent de la période de cueillette. Les meilleurs rendements sont obtenus, dans le cas de *Rosmarinus officinalis* et *R. eriocalix*, au début et/ou pleine floraison soit mai-juin, voire juillet (El Amrani *et al.*, 1997a; 1997b). À l'inverse, la qualité commerciale du produit est généralement meilleure en dehors de la pleine floraison (El Amrani, 1999). Les niveaux de coupe peuvent influencer également les résultats de l'exploitation et la pérennité des peuplements exploités (El Amrani *et al.*, 1997c) (Encadré 12).

## **3. CONNAISSANCE DU MARCHÉ INTERNATIONAL**

Dans un pays comme le Maroc, une bonne valorisation de la ressource naturelle aromatique et médicinale ne peut se faire sans s'appuyer sur le marché international. Ce dernier est en évolution continue (Cf. Chapitre 1). Il faut donc être, en permanence, à son écoute pour déchiffrer, à temps, ses tendances et ses orientations. C'est le seul moyen pour saisir, au bon moment, les opportunités offertes.

### **3.1. Grandes mutations du marché, concurrence et besoins d'adaptation**

La filière des PAM a de plus en plus un caractère international. Elle est, ainsi, une filière très concurrentielle. Dans les pays industrialisés, il y a tendance à remplacer certaines grandes cultures par des cultures spécialisées dont celle des PAM.

### Encadré 12. Recommandation pour la récolte des PAM (Exemple du romarin)

Souvent, on recommande de récolter les PAM lorsque la plante est en pleine floraison. Le romarin peut renouveler sa floraison pendant pratiquement toute l'année. On peut donc, *a priori*, procéder à la récolte de cette espèce à n'importe quelle période de l'année. Mais, il est préférable de concentrer cette activité, autant que possible, entre mars et mai. Pendant cette période, on obtient les meilleurs rendements en HE et la meilleure qualité de l'essence (Gaviña Mugica & Torner Ochoa, 1974). Ces recommandations, faites pour les conditions climatiques de l'Espagne, doivent être vérifiées dans des situations nettement différentes.

Dans le cas des peuplements naturels, la récolte doit être réalisée à l'aide d'une faucille bien coupante. La coupe doit porter uniquement sur les brindilles tendres et les sommités fleuries. Il faut éviter les parties ligneuses qui diminuent les rendements en HE et réduisent la qualité de l'essence obtenue (Gaviña Mugica & Torner Ochoa, 1974). Muñoz (1987) et Iteipmai (1991) recommandent une coupe à environ 30 cm du sol. Zrira *et al.* (1997) préconisent la récolte de la moitié supérieure de la plante (coupe à la moitié environ de la hauteur de la plante).

Pour les plantes de culture, les recommandations diffèrent selon la destinée du produit récolté:

- La récolte peut avoir lieu après 1 an à 1 an et demi de la mise en culture (Muñoz, 1987; Iteipmai, 1991).
- Quand la récolte est destinée à l'herboristerie et à l'aromatization alimentaire, la récolte doit avoir lieu bien avant la floraison, soit fin mars-début avril pour le cas de la France (Iteipmai, 1991). Toutefois, les mêmes auteurs soulignent qu'en pratique, la coupe d'automne est également utilisée.
- La production des pousses fraîches n'est dictée que par les impératifs commerciaux. Elle peut être pratiquée toute l'année.
- Pour la production d'HE, l'Iteipmai (1991) recommande la récolte en pleine floraison (mai-juin pour la France). El Amrani *et al.* (1997a) travaillant sur le romarin de peuplement naturel ont abouti au même résultat: les meilleurs rendements de distillation de romarin sont obtenus lorsque la plante est en pleine floraison.
- Muñoz (1987) recommande, d'une façon générale, une coupe annuelle, en pleine floraison, soit fin printemps - début été (pour l'Espagne). Si la plante est destinée à l'herboristerie, on pourra pratiquer la récolte en septembre.

Les pays de l'Europe de l'Est ont déjà une tradition dans ce domaine. Plusieurs pays en voie de développement, animés par une politique de diversification de leurs productions agricoles, essaient de développer une filière des PAM. Il s'agit d'un marché, en croissance continue, où il n'y a plus beaucoup de possibilités de protection. Israël, par exemple, est devenu en quelques années un fournisseur

important en herboristerie sèche (plus de 10 millions de \$ par an contre 24 millions de \$ pour le Maroc, pays de grande tradition dans le domaine et dont les potentialités naturelles sont absolument incomparables). L'Inde est un autre grand fournisseur des plantes aromatiques et médicinales et des épices, mais l'Inde est aussi un grand consommateur, ce qui explique la perte pour ce pays d'une grande partie de certains de ses marchés classiques d'épices et aromates (cardamome, par exemple). Parallèlement, l'Inde fait, grâce à un système de recherche-développement efficace, une avancée importante dans la production de certaines plantes à parfum, comme le jasmin. L'Inde est ainsi devenue un grand fournisseur de ce produit. Même des plantes méditerranéennes sont actuellement développées en Inde. Cette caractéristique de marché très ouvert est intéressante pour un pays producteur et à fort potentiel comme le Maroc, mais encore faut-il savoir profiter de cette situation et être toujours armé pour affronter une concurrence de plus en plus ouverte et diversifiée. Les professionnels marocains doivent savoir qu'ils auront de plus en plus à affronter des concurrents très bien organisés qui maîtrisent leurs productions depuis la culture jusqu'aux produits finis en passant par tous les traitements intermédiaires. En particulier, le secret (d'approvisionnement, de marché, de prix, de savoir-faire ...), autrefois la clé de la réussite dans le domaine, n'a plus aujourd'hui qu'un rôle secondaire. Il y a actuellement beaucoup plus de communications et de transparences. La clé de la réussite est ainsi devenue davantage dans les compétences techniques et organisationnelles et dans le sérieux des relations commerciales. Cette situation concerne tous les segments du secteur et, en particulier, celui de l'herboristerie sèche.

### **3.2. Besoin d'innovation permanente**

Le marché international des PAM est de plus en plus caractérisé par la circulation de produits dont la durée de vie est courte. Des formules d'arôme ou de parfum sont mises sur le marché pour trois, quatre ou cinq ans puis disparaissent pour être remplacées par d'autres. Il s'ensuit que certaines matières premières rentrant dans la composition de ces produits peuvent subir le même sort. Il faut donc être suffisamment armé pour suivre et prévoir ces changements pour s'y adapter. Aujourd'hui, la filière nécessite un effort permanent d'adaptation. Une telle démarche suppose un effort de recherche-développement soutenu et efficace, une présence permanente sur le

marché tant sur les plans scientifiques et techniques que commerciaux et juridiques. Ceci ne peut être réalisé encore une fois que par un système de veille permanent adapté et efficace.

Ce marché ne cesse de changer et se diversifier en créant de nouveaux labels tels que l'herboristerie fraîche, congelée, surgelée, déshydratée, etc. L'élaboration de tels produits demande beaucoup de soins, de maîtrise technologique et de moyens financiers ainsi qu'une organisation commerciale de pointe.

### **3.3. Exigences de qualité**

Le marché des PAM est de plus en plus exigeant sur la qualité du produit fini: résidu de solvant dans un résinoïde, une concrète ou une absolue, résidus de pesticides dans une plante séchée ou dans ses dérivés, la salubrité du produit, la conservation des caractéristiques organoleptiques d'un aromate, la présentation du produit... Pour répondre à ces exigences, le courtier au niveau international, ou l'utilisateur final, doit être capable de maîtriser autant que possible toute la chaîne de production en amont. Il doit donc être capable de s'appuyer sur une organisation sans faille. On assiste ainsi depuis plusieurs années déjà, à l'apparition d'un système de production basé sur des contrats de cultures spécifiques, en petites quantités, très rentables, mais avec beaucoup d'exigence sur la qualité au sens large. Ici encore, l'exemple israélien est très significatif: une grande gamme de produits est exportée vers le monde entier, même en frais. Ceci n'aurait jamais été possible sans, entres autres, une excellente organisation commerciale.

La réussite du pari pour la qualité exige un effort permanent de R-D. Ainsi, les travaux de sélection et de mise au point de techniques culturales adaptées pour chaque espèce végétale sont devenus des éléments clés pour la standardisation de la production tant en quantité qu'en qualité. Il s'agit ici d'un élément extrêmement important que la plupart des professionnels marocains ne semblent pas encore avoir bien compris. Signalons qu'un pays comme Israël (fournisseur récent dans la filière) exporte aujourd'hui des plantes ayant double rôle, décoratif et culinaire, dans des pots. La Hollande est devenue un concurrent dans le domaine grâce à un effort de R-D intense basé sur la teneur en «principes actifs».

De nouvelles filières particulières se développent sur le marché comme l'aromathérapie et les produits «BIO». Ces deux derniers domaines ont, cependant, des exigences particulières qu'il faut respecter. La profession marocaine reste pratiquement exclue du marché de ces deux segments du secteur.

### 3.4. Opportunités du marché

Dans une étude réalisée par l'A.M.I (1995), on a analysé le marché américain pour un certain nombre de produits qui rentrent dans la catégorie «herboristerie et aromates» et la présence de la production marocaine sur ce marché. L'étude a conclu que ce marché peut offrir aux producteurs marocains des opportunités réelles. Le tableau 9 donne une synthèse de ces propositions.

**Tableau 9. Opportunités du marché américain pour quelques plantes aromatiques destinées à l'herboristerie et à l'aromatisation alimentaire (A.M.I., 1995)**

Plantes	Tonnage supplémentaire potentiel en tonnes	Valeurs correspondantes en Milliers de \$US
Origan	2.000	3.800
Coriandre	1.500	675
Persil	500	1.650
Paprika (poudre)	5.000	7.925
Sauge	750	1.425
Thym	500	1.000
Fenouil (graines)	1.000	1.500
Fenugrec	1.000	1.000
Romarin	500	275
Total		19.250

La valeur totale (19.250.000 \$ US) représente pratiquement la totalité des exportations marocaines actuelles en épices, aromates et produits d'herboristerie toutes espèces confondues (Cf. Tableau 8, Chapitre 2). Autrement dit, avec neuf produits seulement et en ne visant que le marché américain, les professionnels marocains pourraient doubler, en valeur, leurs exportations dans ce secteur. Or, le marché américain n'est qu'une partie du marché mondial dans le domaine des aromates et herboristerie. Il représente moins du cinquième des échanges mondiaux dans ce domaine. D'autres marchés sont également importants (Europe et Japon en particulier).

Cependant, les auteurs de l'étude (A.M.I., 1995) soulignent que le Maroc ne pourra profiter de ces opportunités que s'il fait l'effort nécessaire pour améliorer la qualité des produits et respecter les exigences du marché américain (ou du marché tout court). La satisfaction de ces exigences passe par l'amélioration des technologies mises en oeuvre, de l'encadrement des unités de production et de l'efficacité des structures commerciales.

#### **4. POLITIQUE DE PRODUITS ET DE PRODUCTION**

Tout projet d'élaboration d'un produit pour le marché international des PAM doit tenir compte de la caractéristique fondamentale de ce dernier, à savoir, un marché très ouvert (Cf. § 3.1).

##### **4.1. Produits de culture**

Une question fondamentale peut se poser aux acteurs dans ce domaine: faut-il procéder à de grosses productions pour des plantes classiques ou chercher des niches particulières ?

Des grands pays comme les États-Unis d'Amérique, la France et l'Australie développent des systèmes de production intensifs très mécanisés pour la culture de certains produits du secteur. Ils mettent à profit la disponibilité de grands espaces et des technologies de production de pointe depuis la culture jusqu'au produit fini. Une telle politique ne peut s'appliquer que pour des produits de gros tonnage sur le marché international. On peut citer, à titre d'exemple, la menthe (menthe poivrée = *Mentha piperita* L. et menthe japonaise = *M. arvensis* L.) et la coriandre dans le cas des États-Unis d'Amérique, la lavande et le lavandin en France, le persil, le fenouil, le pyrèthre et le cassis dans le cas de l'Australie. Dans ce cas de figure, il paraît difficile qu'un producteur marocain puisse affronter ces «géants» dans le domaine. Une politique de grosses productions marocaines de menthe poivrée, de lavande et surtout de lavandin aura des difficultés certaines pour réussir. Les professionnels marocains doivent chercher des segments de secteurs où ils ont un avantage comparatif à valoriser. Les produits de petit tonnage relatif et surtout lorsqu'ils demandent beaucoup de soins n'intéressent pas toujours les grandes compagnies agricoles dans les pays industrialisés. Des niches particulières peuvent être ainsi développées à condition qu'elles soient accompagnées d'une politique de prix dissuasive pour tous les «curieux». Des produits de culture

de tonnage relativement important, déjà connus sur le marché international sous un label «Maroc» avec des caractéristiques particulières, peuvent être développés grâce à une meilleure maîtrise des techniques de production et une politique commerciale (régularité des prix, de la qualité et de l'offre) et de marketing efficace. La coriandre (en graines) du Maroc est un excellent exemple dans ce sens. C'est une variété particulière très appréciée dans l'aromatisation alimentaire et qui mérite d'être développée (§ 5.2.1, Chapitre 2). Des produits poussant à l'état spontané et sur de grandes surfaces peuvent également constituer un atout pour la profession marocaine (romarin, armoise, thym saturoide ou thym doux du Maroc, myrte, ...).

#### **4.2. Plantes spontanées**

Le professionnel travaillant dans le domaine des PAM peut être amené à répondre à la question suivante: faut-il se limiter, pour une espèce donnée, à la cueillette des peuplements spontanés ou serait-il plus judicieux de procéder à la culture de la même plante?

La production à partir des plantes spontanées (plantes de cueillette) existe également ailleurs qu'au Maroc. Les pays de l'Europe de l'Est ont une grande tradition dans le domaine. Ils la renforcent aujourd'hui grâce à un grand effort de modernisation des techniques de séchage et grâce à une activité de R-D importante. La Turquie est un autre concurrent important pour l'exploitation des plantes de cueillette, mais qui fait également d'importants efforts pour la modernisation des cultures (cas de la rose par exemple). Le Maroc est ainsi fortement interpellé dans ce domaine. L'abondance de certains peuplements à l'état spontané permet d'avoir un avantage comparatif non négligeable pour certains produits de grande consommation. L'HE de romarin est un bon exemple de ce type de produits. Le Maroc, avec ses 60 t d'HE en moyenne par an (équivalent à 1,5 millions de tonnes de matériel végétal traité) est parmi les trois grands producteurs mondiaux (l'Espagne, la Tunisie et le Maroc). L'abondance de la biomasse végétale à l'état naturel constitue un atout certain, à condition que son exploitation soit bien gérée. L'HE de myrte est un autre produit du même type au Maroc. Les exportations seraient aujourd'hui de l'ordre de 5 tonnes par an. L'abondance de la biomasse végétale, très largement excédentaire, par rapport aux capacités d'absorption du marché, constitue un grand avantage.

Cependant, le système de cueillette, surtout dans le cas du Maroc, peut constituer un handicap sérieux pour la profession. En effet, la plupart de ces plantes (armoise, romarin ...) poussent dans des régions semi-arides à arides. La production de la biomasse végétale est donc fortement tributaire des conditions climatiques et de la pluviométrie qui changent d'une année à l'autre. Il ne suffit pas d'avoir, pendant une ou plusieurs années une biomasse végétale abondante à l'état naturel, mais il faut en avoir suffisamment chaque année, la régularité de l'offre étant la clé de la réussite dans le domaine (Encadré 13).

### Encadré 13. Choix de production dans le domaine des PAM

1. Au démarrage d'une expérience d'exploitation des PAM, on peut se trouver devant un éventail très large de possibilités, d'où les questions: quelle(s) plante(s) choisir et quel système de production adopter? Pour répondre à ces questions, il faut tenir compte des éléments suivants:
  - a. Les grosses productions (menthe poivrée, menthe japonaise, lavandin, etc.) demandent de grandes surfaces et des moyens techniques et financiers importants. Par ailleurs, les gros producteurs sont déjà installés. Il n'est pas aisé de les concurrencer sur un marché international qu'ils connaissent parfaitement. La tâche est particulièrement difficile pour un producteur installé dans un pays en voie de développement dont la production est totalement tournée vers l'exportation.
  - b. Le choix de niches particulières peut être une démarche judicieuse, surtout lorsque la taille des marchés correspondant à ces niches est si faible que cela n'intéresse pas les gros producteurs.
  - c. Le choix de niches particulières doit tenir compte de deux contraintes: (i) il est nécessaire d'évaluer, à l'avance, la durabilité de la production dans le temps et (ii) il faut une politique de prix et une régularité de production qui favorisent un bon positionnement du produit sur le marché..
2. La disponibilité d'une ressource à l'état spontané autorise-t-elle la mise en culture de l'espèce considérée?
  - a. La mise en culture des PAM a des avantages incontestables:
    - Elle permet une meilleure maîtrise de la production quantitative et qualitative.
    - Elle offre des possibilités de diversification de la production (plusieurs chemotypes d'une même espèce (exemple: *Thymus vulgaris* de France, armoise blanche du Maroc, *Origanum compactum* du Maroc, etc.)
    - La culture peut constituer une solution pour résoudre des problèmes sociaux ou légaux qui peuvent handicaper l'activité de production (exemple: *O. elongatum* et l'armoise blanche parfois, ...)
  - b. Cependant, des problèmes peuvent réduire les chances d'opter pour ce choix:
    - Le coût de la mise en culture (Cf. Encadré 10)
    - La disponibilité de fiches techniques pour la culture (Cf. Encadré 11)
 L'exploitation des peuplements naturels a des avantages. En particulier, la biomasse est immédiatement disponible (en principe). En pratique, l'exploitation de cette ressource peut poser des problèmes à l'entreprise (Cf. Encadré 8).

### **4.3. Information pour l'organisation de la production**

L'information est une autre clé de la réussite de la profession au Maroc. On ne peut rien faire quand on ne dispose pas de chiffres crédibles nécessaires pour organiser la production. Il ne sert à rien de produire plus que le marché n'en a besoin comme il est grave de créer, volontairement ou non, une pénurie sur le marché. La collaboration de tout le monde est obligatoire.

## **5. TECHNOLOGIES DE PRODUCTION**

De nombreux professionnels marocains continuent à utiliser des techniques artisanales pour réaliser leurs productions. Les conséquences sur la qualité des produits élaborés sont parfois très importantes.

### **5.1. Produits d'herboristerie et aromates alimentaires**

Une bonne partie de ce segment est constituée, au Maroc, par des plantes et parties de plantes séchées. Certaines opérations de la chaîne de fabrication de ces produits, comme le séchage, méritent une attention particulière.

De nombreux producteurs continuent à sécher leurs productions en plein air par exposition direct au soleil pendant plusieurs jours (suivant la nature du végétal). Les inconvénients de ce procédé sont nombreux:

- La salubrité du produit peut être sérieusement affectée à ce stade de la chaîne de fabrication. La poussière, les poils d'animaux, les cadavres d'insectes, voire des excréments de rongeurs et de volailles ne sont que des exemples des risques d'infestations du végétal mis à sécher dans ces conditions. Ces éléments vont compliquer l'étape de nettoyage, d'une part, et se retrouver peut-être, en partie, dans le produit fini, d'autre part.
- Cette technique de séchage fait perdre aux feuilles de la plante toute leur couleur de départ. Or, dans certains cas et pour certains utilisateurs, surtout dans le domaine de l'agroalimentaire, la conservation de la couleur est un critère fondamental de la qualité commerciale du produit. Plusieurs plantes condimentaires (romarin, persil, estragon, ciboulette, cerfeuil, etc.) sont d'autant

plus appréciées qu'elles gardent, après séchage, une couleur vert sombre, sans taches ni feuilles jaunes et présentent une coupe régulière. La réussite dans ce domaine passe par des cultures intensives et sophistiquées ainsi que des investissements élevés dans des fours de déshydratation à haute température. Les concurrents dans ce type de produits, largement porteurs, sont des pays industrialisés (la France, l'Allemagne, les Pays Bas) et plus récemment Israël. Les pays de l'Europe de l'Est se sont également lancés dans le même domaine même si leur réussite reste encore mitigée. Quant aux pays en voie de développement, il y a très peu d'exemples (l'Iran pour l'estragon, le Brésil pour le persil déshydraté...) et leur poids sur le marché international reste souvent limité. Le paprika est recherché en tant qu'aromate et colorant alimentaire. Il doit donc, autant que possible, garder toute sa couleur rouge-vif durant le processus de séchage du poivron. La qualité commerciale du produit final en dépend fortement.

- Les conséquences négatives de ce procédé peuvent devenir plus sérieuses et affecter les qualités hygiéniques et sanitaires du produit. Les poivrons et piments séchés dans ces conditions pendant plusieurs jours subissent une succession de «journées chaudes suivies de nuits plus fraîches avec éventuellement de la rosée». Dans ces conditions, on risque de favoriser le développement de moisissures avec tout ce que cela comporte comme risque telle que la production de mycotoxines. Au moins pour ce produit, il est temps que tous les producteurs abandonnent définitivement ce procédé de séchage.

Globalement, la qualité commerciale du produit fini (aromates alimentaires) est sérieusement affectée par le processus de fabrication et, en particulier, par l'étape de séchage. Ses effets se répercutent inéluctablement sur les prix de vente. Les exemples suivants sont significatifs:

### **5.1.1. *Thym***

Les prix, selon la provenance, appliqués sur le marché français, montrent des différences très importantes (ONIPAM, 1995). En 1995, la production française se vendait entre 4,4 et 6 FF le kg, celle de la Pologne entre 3,8 et 4,4 FF le kg, celle d'Espagne entre 3,2 et 5 FF/kg. Pendant la même période, celle du Maroc se vendait à 1,4 FF/kg.

Le bas prix du thym Maroc s'expliquerait par plusieurs raisons: la qualité du travail, la présentation,... qu'on doit améliorer, mais c'est surtout l'appellation qu'il faut absolument changer. Le produit appelé «thym du Maroc» est un produit spécifique de ce pays (*Thymus satureoides* Coss.). Il n'existe nulle part dans le monde. Il doit être fourni sous une appellation commerciale qui lui est PROPRE pour des utilisations SPÉCIFIQUES et ne pas le confondre avec le thym tout court qui sous-entend «*Thymus vulgaris*, chemotype à thymol». Si non, on véhicule tout simplement l'idée «produit du Maroc = produit de mauvaise qualité». Ceci est d'autant plus vrai que les professionnels marocains ont la possibilité de commercialiser un autre produit qui aurait droit à l'appellation commerciale «thym» et qui serait d'une excellente qualité sous cette spécification. Il s'agit de «thym de Terguiste» (§ 5.1.1, Chapitre 2).

### 5.1.2. *Menthe douce*

Ce produit a été négocié, sur le marché français, et pendant la même année à des prix variables selon la provenance du produit: 4,4 à 5,6 FF/kg pour la production française, 2 à 2,3 FF/kg pour celle provenant d'Égypte et 1 à 1,2 FF/kg pour celle du Maroc. Dans ce cas, il semble que rien ne peut expliquer cette différence des prix autre que la qualité globale du produit.

### 5.1.3. *Romarin*

Le produit français se négociait la même année à 3 FF/kg, celui d'Espagne à 1,2-1,6 FF/kg et ceux du Maroc et de la Tunisie à 0,8-1,2 FF/kg. Pour cet exemple, comme pour le précédent, il n'y a pas d'autres explications que le problème de QUALITÉ au sens large: qualité de la production, d'organisation, de relations commerciales, etc.

Notons qu'il existe, toutefois, des cas où le produit marocain est bien classé dans le marché international. C'est le cas de l'origan: la production turque a été commercialisée en 1995, dans le marché français à 1,6 à 2,4 FF/kg, celle du Chili à 1,8 FF/kg, celle de la Chine à 2 FF/kg et celle du Maroc à 2 - 2,2 FF/kg. Mais on remarque que, dans ce cas, les productions comparées proviennent toutes de pays en voie de développement.

D'autre part, l'origan exploité au Maroc (*Origanum compactum* Benth) est d'excellente qualité visuelle et aromatique (§ 5.2.2.1, Chapitre 2). Il devrait pouvoir être classé nettement au-dessus des autres origines qui exploitent d'autres espèces.

L'amélioration de la qualité de ce type de produits, qui passe par la modernisation de la chaîne de fabrication dans son ensemble et de l'opération de séchage en particulier, s'avère ainsi indispensable. Elle est nécessaire même quand on sait que, d'une part, le marché est diversifié et laisse, généralement, place à des qualités très différentes et que, d'autre part, cette amélioration de qualité ne veut pas dire toujours «augmentation des prix de vente». Elle est, par contre, dans tous les cas, un moyen sûr pour fidéliser la clientèle et élargir sa part du marché.

Deux autres opérations ont déjà été soulignées pour leur importance dans la définition de la qualité commerciale du produit fini. Il s'agit du lavage pour certains produits comme le poivron pour la production du paprika et le conditionnement du produit final comme le safran (§ 5.2.1.1, Chapitre 2).

## **5.2. HE et EA**

Dans le segment «HE», comme pour les aromates, les technologies utilisées par la plupart des professionnels marocains, surtout ceux qui exploitent les espèces végétales spontanées, restent très simples. Les procédés utilisés ont l'avantage d'être relativement simples, peu coûteux et bien adaptés aux milieux difficilement accessibles. Les technologies s'adaptent également bien pour l'exploitation des petites productions, spontanées ou de cultures, réparties sur des zones éloignées les unes des autres. La gestion d'une distillerie de ce type ne demande qu'une expérience sur le terrain. C'est une technologie qui marche encore et ces produits ont toujours leur place sur le marché international des HE, mais elle présente beaucoup de faiblesses (voir Chapitre 10).

La profession au Maroc gagnera beaucoup à faire l'effort nécessaire pour améliorer les techniques, les procédés et l'encadrement de ces unités. Toute politique de dynamisation du secteur, au Maroc, doit tenir compte de cette réalité.

## **6. ACTEURS CONCERNÉS PAR CETTE STRATÉGIE**

La réalisation du programme qu'on vient de décrire implique trois acteurs principaux: la profession, les pouvoirs publics et les centres de R-D.

### **6.1. Profession**

La profession est, avant tout, appelée à prendre conscience des réalités du secteur, comme on vient de les décrire, et des adaptations qu'elle est appelée à faire et refaire, en permanence, pour profiter des opportunités que le marché lui offre. Pour réussir dans une telle entreprise, la profession doit s'appuyer sur une activité de R-D et un système de «veille» efficaces et pratiques. Or, la R-D ne peut être aussi productive qu'on le souhaite que lorsque la profession y est directement impliquée, depuis la formulation des problèmes jusqu'au financement des travaux en passant par le suivi de ces derniers et la mise à l'épreuve des résultats obtenus. Un système de veille ne peut être utile que s'il est constamment interrogé et alimenté par les professionnels. D'une façon générale, la modernisation souhaitée du secteur, sur tous les plans (scientifique, technique, technologique, organisationnel, etc.), ne peut être réalisée sans un engagement réel et une implication effective de la profession.

Dans son état actuel de désorganisation quasi totale, la profession marocaine des PAM est incapable d'assumer une telle obligation. Le point de départ est donc l'organisation de ladite profession. Une organisation professionnelle forte, réellement représentative et consciente de ses tâches, est un préalable à toute tentative de dynamisation du secteur. Cette organisation doit jouer le rôle moteur pour le développement et la modernisation recherchés pour le secteur.

### **6.2. Pouvoirs publics**

Les pouvoirs publics doivent, d'abord, reconsidérer le secteur. Ce n'est pas obligatoirement un secteur secondaire. Il l'est tant qu'il reste dans la léthargie actuelle (d'une façon générale). Les pouvoirs publics doivent, ensuite, jouer un rôle de catalyseur pour l'organisation de la profession et la dynamisation de la recherche. Les expériences des pays développés, à forte tradition d'exploitation des PAM, peuvent servir de modèles à méditer. En France par

exemple, l'Office National Interprofessionnel des Plantes à Parfums, Aromatiques et Médicinales (ONIPPAM) est un organisme public chargé de suivre, en permanence, la situation du secteur, de la profession et du marché (national et international).

L'ONIPPAM initie et contribue au financement des projets de R-D nécessaires à la profession. L'institut technique interprofessionnel des plantes médicinales, aromatiques et industrielles (Iteipmai) est, comme son nom l'indique, un établissement interprofessionnel chargé de réaliser différentes études agronomiques, techniques ou économiques pour le secteur. Il est subventionné, dans certaines de ses activités, par les pouvoirs publics en particulier par l'ONIPPAM. Ces deux structures n'excluent pas l'organisation des professionnels dans diverses associations plus ou moins spécialisées. Au contraire, ces associations constituent le support d'activité aussi bien de l'ONIPPAM que de l'Iteipmai.

### **6.3. Centres de recherche spécialisés**

Il a déjà été souligné qu'au Maroc, il existe aujourd'hui plusieurs laboratoires qui s'intéressent à l'étude des substances naturelles d'origine végétale et en particulier les huiles essentielles et autres extraits des PAM. Mais, les préoccupations de ces laboratoires sont très variables (*Cf.* § 2). Ceux qui concernent directement ce programme (R-D pour le développement du secteur des PAM au Maroc) sont les laboratoires qui consacrent l'essentiel de leurs activités à la résolution des problèmes concrets de la profession et du secteur dont les principaux axes viennent d'être décrits (*Cf.* § 2 à 5).

Pour un meilleur encrage de cette activité de R-D dans le programme général de développement du secteur, les centres de recherche doivent tout faire pour, d'une part, impliquer la profession et les pouvoirs publics dans la programmation de leur activité et, d'autre part, faire l'effort nécessaire pour adapter leurs activités aux problèmes réels du secteur.

### **6.4. Organe de coordination**

Les trois acteurs, devant intervenir dans la réalisation de ce programme, doivent travailler en symbiose totale. Il est impossible

que les pouvoirs publics s'acquittent de leurs tâches sans la participation directe et permanente de la profession et sans s'appuyer sur des résultats précis de diverses actions de R-D.

La profession toute seule ne réussira jamais un développement réel du secteur, à la hauteur des potentialités qu'il recèle. Elle doit s'appuyer sur des données scientifiques et techniques précises et doit être soutenue par les pouvoirs publics concernés par le secteur.

Les centres de recherche ne peuvent être au rendez-vous des attentes du secteur sans l'implication de la profession et le soutien des pouvoirs publics. L'implication des trois parties concerne aussi bien l'établissement des priorités pour la R-D, la programmation des actions à entreprendre, le suivi et l'évaluation des résultats que le financement des travaux.

La réussite de cette collaboration, ainsi souhaitée entre les trois acteurs, sera certainement grandement facilitée si elle s'opère dans une structure organisée et spécialisée. Celle-ci peut être un office, un observatoire ou toute autre structure dont l'objectif est de réunir les trois acteurs pour les impliquer dans la stratégie générale de développement du secteur des PAM et dérivés.

## 7. CONCLUSIONS

Dans ce chapitre on a essayé de tracer les grandes lignes d'une politique nationale pour une meilleure valorisation des ressources naturelles en PAM. Il s'agit d'une politique qui impliquerait trois acteurs principaux (la profession, les pouvoirs publics et les centres de recherche spécialisés).

L'objectif fondamental de cette politique est la modernisation du secteur et son développement. Cette modernisation concerne plusieurs aspects: meilleure connaissance du potentiel naturel, meilleure maîtrise de la qualité des produits, meilleure connaissance du marché et de ses exigences, bonne politique de gestion de la production (choix de type de produit à réaliser et du système de production à suivre), modernisation des technologies mises en œuvre, etc. (Encadré 14).

### **Encadré 14. Grandes lignes d'une politique de recherche-développement dans le domaine des PAM**

Les idées ci-dessous soulignées sont données à titre indicatif. Les auteurs les doivent à l'analyse de l'expérience marocaine dans l'exploitation des PAM.

#### **1. Maîtrise de la qualité des produits élaborés**

- Cette maîtrise passe par la connaissance aussi précise que possible de la chimie et de la chimiotaxonomie des espèces végétales mises (ou à mettre) en valeur.
- Les connaissances chimiotaxonomiques doivent être comparées aux exigences du marché.
- Pour normaliser les productions et permettre des relations saines, entre le producteur et ses clients, des fiches techniques doivent être élaborées.
- Les trois éléments précédents devraient permettre d'orienter les producteurs dans leurs activités.

#### **2. Sélection, mise en culture et techniques culturales**

On a signalé, dans le cas du Maroc, plusieurs espèces qui pourraient être cultivées: Romarin, armoise, *Ormenis mixta*, *Origanum compactum*, *O. elongatum*, euphorbes, ... Pour certaines espèces, des fiches techniques existent déjà (Cf. Encadré 11). Pour d'autres, il faut les établir. C'est le rôle des centres de recherche. Dans le cas du Maroc, toutes les espèces endémiques ne peuvent être étudiées que par les chercheurs marocains.

Par ailleurs, certaines espèces aromatiques sont très riches en chemotypes. Une meilleure valorisation de ces espèces passe par la sélection des chemotypes et leur culture.

#### **3. Évaluation des potentiels réellement disponibles**

Ce problème se pose essentiellement pour les plantes spontanées:

- L'existence d'une espèce donnée dans une région ne suffit pas pour justifier sa mise en exploitation. Encore faut-il déterminer son abondance, sa capacité de régénération, etc. C'est le seul moyen d'évaluer les capacités réelles de production et la viabilité du projet. Des erreurs liées à la sous-estimation du potentiel naturel sont courantes.
- Aux sous-estimations quantitatives s'ajoutent parfois des erreurs liées à la qualité des produits qu'on pourrait obtenir. Dans la nature, il existe plusieurs espèces de lavandes, mais elles n'ont pas toutes la même valeur commerciale. Certaines n'en ont aucune. On pourrait dire la même chose des *Thymus*, des *Artemisia*, des *Origanum*, ...

La recherche-développement doit évaluer, dans chaque cas, le potentiel existant aussi bien quantitatif que qualitatif.

#### **4. Recherche-développement et innovation**

On a souligné dans le texte principal que le secteur des PAM est en évolution permanente. Il est toujours à la recherche de nouveaux produits, de nouvelles formules, de nouvelles technologies, ... Les entreprises modernes doivent s'adapter à cette réalité. Pour ce faire, elles doivent s'appuyer sur une activité de recherche développement dynamique et efficace.

#### **5. Un système de veille permanent**

L'évolution permanente du secteur à l'échelle internationale (Cf. Chapitre 1) oblige les différents intervenants dans le secteur à suivre le mouvement et, autant que possible, l'anticiper. Dans les pays en voie de développement, en particulier, les entreprises ne sont pas suffisamment armées pour réaliser, seules, cette fonction dans les meilleures conditions. Les centres de recherche et les organisations professionnelles doivent les aider.

#### **6. Identification des espèces menacées**

On a signalé dans le texte des espèces menacées par la sur-exploitation (exemple: *Ormenis*). La recherche-développement se doit d'identifier ces espèces et de proposer les solutions alternatives.

## **TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DES PAM SÉCHÉES**

### **1. INTRODUCTION**

Les trois chapitres précédents ont été consacrés à l'analyse économique et aux perspectives du développement du secteur des PAM à l'échelle internationale (Chapitre 1) ainsi que dans le cas d'un pays, le Maroc, pris à titre d'exemple (Chapitre 2 et 3). Les chapitres 4 à 8 seront consacrés aux aspects techniques du secteur. Le présent chapitre, consacré aux technologies de production des PAM séchées, décrira la chaîne de production depuis la récolte de la biomasse végétale jusqu'au conditionnement du produit final. Les fondements théoriques de l'opération de séchage, les grandeurs physiques de gestion pratique d'un atelier de séchage, les deux procédés classiques de séchage (naturel et industriel), les limites et les atouts de chacun de ces procédés, etc., bénéficieront d'une attention particulière. Parmi les techniques de séchage industriel, celles utilisant l'énergie solaire sont relativement récentes. Les critères de qualité des PAM séchées sont également présentés.

### **2. PRODUCTION DES PLANTES SÉCHÉES**

La chaîne de production des plantes séchées peut être subdivisée en quatre étapes: la récolte, le séchage, le nettoyage et le conditionnement.

#### **2.1. Récolte**

Opération primordiale de la chaîne, la récolte conditionne la qualité première et fondamentale de la matière première et, par conséquent, celle du produit fini. La maîtrise des techniques de cette étape détermine, dans une grande mesure, les caractéristiques visuelles appelées couramment «tenue du produit fini». Celle-ci est évaluée par la teneur en débris de tiges, feuilles jaunes (vieillesse), feuilles tachetées et feuilles brisées.

Ainsi, une coupe tardive ou trop basse donnerait un taux trop élevé de feuilles jaunes. Une densité de plantation trop élevée pourrait influencer sur le taux de feuilles jaunes et sur l'épaisseur des feuilles (plus ou moins cassées). Le cas de la verveine est un bon exemple. Une attaque de rongeurs donnerait des feuilles tachetées et abîmées.

La collecte des plantes à l'état spontané est souvent réalisée de façon traditionnelle, sans aucun encadrement technique. Or, ce dernier est non seulement nécessaire pour préserver les peuplements pour les années à venir, mais également pour éviter le risque de mélanges entre espèces voisines ainsi qu'entre variétés ou chemotypes différents (Encadré 15).

## **2.2. Séchage**

Si la récolte constitue l'étape clef pour la maîtrise de la qualité intrinsèque de la matière première, sans laquelle on ne peut jamais réaliser un bon produit final, l'opération de séchage sera une étape stratégique pour la sauvegarde et la protection de cette qualité dans le produit fini. Vu son importance, cette étape sera détaillée plus loin (voir § 3).

## **2.3. Nettoyage**

L'opération de nettoyage permet d'améliorer les caractéristiques du produit résultant des deux opérations précédentes (récolte et séchage). Cette étape comporte quatre opérations complémentaires.

### **2.3.1. Découpage**

Appelé aussi dans le jargon industriel «broyage», le découpage consiste en fait à réduire la dimension des grandes tiges et branches qui constituent les impuretés accompagnant les parties nobles de la plante, généralement les feuilles. Cette opération facilite, ainsi, l'élimination de ces impuretés par tamisage.

Le découpage permet également, quand il le faut, de présenter le végétal sous la forme (taille) répondant aux exigences de la clientèle. Cette opération est réalisée moyennant des appareils appelés abusivement des broyeurs.

**Encadré 15. Conseils pratiques pour la récolte des PAM****Quand récolter les PAM?**

Il faut autant que possible récolter par beau temps stable pour faciliter le séchage, qui demande souvent plusieurs jours. Le stade végétatif de la plante à la récolte influe sur la qualité de cette dernière. Pour les plantes destinées à l'aromatization alimentaire ou à la parfumerie et à la cosmétique, on conseille généralement la récolte au début et/ou en pleine floraison. Dans le cas des plantes cultivées, comme le basilic, il est préférable de ne pas arroser pendant les deux jours précédant la récolte. Dans le cas de la sauge, on préconise un arrêt d'arrosage avant la coupe pendant deux semaines. Pour chaque espèce, les techniques culturales, quand elles existent, précisent exactement le moment où il faut procéder à la coupe. La période de récolte peut varier suivant qu'il s'agisse de racines, de bourgeons, de feuilles, de fleurs, d'écorce ou de fruits.

**Comment récolter les PAM?**

De façon générale, la récolte des plantes spontanées, sans les soins et précautions nécessaires, donne souvent un produit chargé d'impuretés, difficile à traiter et de qualité variable.

Pour avoir des plantes séchées qui répondent aux normes de marché de destination, il est important d'éviter:

- les mélanges d'espèces et de variétés;
- les coupes trop basses qui donneraient un taux trop élevé de feuilles jaunes;
- la présence en quantité excessive de corps étrangers au produit commercial de la plante comme la poussière, les poils d'animaux, les tiges, y compris celles de la même plante quand celle-ci est commercialisée sous forme de feuilles ou de graines, etc.

**Que faire après la récolte?**

Après la récolte, les plantes doivent être transportées, le plus rapidement possible, vers le lieu de séchage. Durant le transport, il faut veiller aux risques de l'échauffement de la biomasse végétale transportée qui pourrait altérer sa qualité.

Le tassement des plantes, encore humides, peut provoquer une dégradation des produits, ce qui se traduit par le noircissement voire le pourrissement des feuilles. On doit veiller à réduire, au maximum, le contact de la plante avec le sol après la coupe.

L'hygiène doit être la première préoccupation afin d'éviter une contamination de la récolte par des micro-organismes et plus particulièrement les moisissures.

### **2.3.2. Dépoussiérage**

Il est effectué à l'aide de ventilateurs de diverses formes et technologies. Le tamisage est un autre moyen d'élimination de la poussière.

### **2.3.3. Nettoyage mécanique**

Cette opération consiste à séparer les tiges, feuilles, fleurs, etc. Elle est réalisée, dans le secteur traditionnel, à l'aide de tamis manuels. Pour obtenir un nettoyage plus efficace et plus rapide, on utilise des sasseurs munis de deux ou plusieurs tamis de différents calibres. Un sasseur peut ainsi être constitué de deux tamis superposés. Il est actionné mécaniquement. Le premier tamis permet d'éliminer les branches laissant passer les feuilles, les brisures et la poussière. Quant au deuxième tamis, il permet d'éliminer les brisures et poussières en retenant les feuilles (partie noble). Les calibres des tamis utilisés dépendent de la plante et de la qualité exigée par le client. Dans d'autres cas, le sasseur est constitué de trois tamis disposés sur un même plan incliné. Ces derniers peuvent être de même calibre ou de calibres différents. Les tamis de même calibre permettent d'éliminer les pierres et le sable, en retenant les feuilles. Les tiges sont amenées, grâce à la vibration mécanique du sasseur, au bord inférieur des tamis où elles sont récupérées séparément. Les tamis de calibres différents permettent de sélectionner des produits dont la taille et la qualité dépendent des mailles des tamis.

### **2.3.4. Triage**

Cette opération est généralement réalisée manuellement. Souvent, des ouvrières sont chargées d'éliminer tous les corps étrangers qui sont restés dans le produit et qui n'ont pas été éliminés par les moyens précédents.

## **2.4. Conditionnement et emballage des plantes**

Avant la mise sur le marché, le produit séché et nettoyé est d'abord conditionné: les plantes bien conditionnées durent plus longtemps. Les produits séchés doivent être emballés dans des emballages propres, sains et sans risque d'interaction avec les produits qu'ils contiennent. De même, l'emballage doit empêcher, au maximum, la reprise d'humidité, la perte d'arôme, les réactions enzymatiques et

d'oxydation. L'emballage doit porter un étiquetage indiquant tous les renseignements nécessaires pour mettre le client en confiance et respecter les législations en vigueur. En particulier, l'étiquetage doit indiquer le nom du produit, la partie de la plante conditionnée (feuille, fruit,...), le producteur, le pays de production, la masse nette, la date de péremption,... (Encadré 16).

Au niveau de la tisanerie, les infusions constituées d'une plante (ex: verveine, camomille,...) ou d'un mélange de plantes (ex: verveine + menthe, verveine + tilleul,...) sont emballées dans des sachets en papier ou en tissu étamine.

#### **Encadré 16. Conseils pratiques pour le conditionnement des PAM**

Pour le conditionnement des PAM séchées et nettoyées, il faut:

- Éviter tout emballage prématuré (avant séchage complet): Celui-ci est préjudiciable à la bonne conservation des plantes qui s'échauffent, moisissent et deviennent vite inutilisables.
- Opter pour les emballages suivants:
  - \* sacs en papier Kraft double épaisseur;
  - \* emballages en tissu suremballés dans des fûts propres (en carton non traité ou en métal).
- Éviter l'usage d'emballages ayant contenu des produits non alimentaires.
- Fermer les emballages à l'aide de cordelettes ou d'un ruban adhésif et vérifier fréquemment l'état des lots.
- Ne pas utiliser les agrafes ou pinces à linge qui risquent de tomber parmi les plantes à l'ouverture des sacs.
- Étiqueter chaque emballage en précisant le nom de l'espèce, l'origine de la récolte, la date de récolte, la mention «à consommer de préférence avant» et le nom du producteur.

## **2.5. Stockage**

Dès que les plantes sont sèches et triées, elles sont stockées. Laissées longtemps à l'air libre, elles perdent leur couleur et leur viabilité. Elles se couvrent de poussières, sont visitées par les insectes et s'humidifient. Ceci favorise le développement des micro-organismes (Wicki, 1991).

## **2.6. Conservation**

Dans des conditions optimales de stockage, les feuilles, les parties aériennes et les fleurs conservent le maximum de leurs principes actifs pendant un cycle annuel complet. Les racines et les graines se conservent en moyenne deux ans.

Les micro-organismes sont naturellement présents sur tout le végétal. Ils sont actifs à des taux d'humidité supérieurs à 12 à 15% selon les produits.

Des traitements de conservation qui visent à limiter la présence d'insectes et de micro-organismes peuvent être envisagés:

- micro-ondes;
- irradiations;
- congélation.

La plante entière s'altère d'autant plus vite que la surface de contact avec l'air est élevée. Aussi, est-il conseillé de stocker les plantes légèrement tassées dans des sacs fermés (Wicki, 1991).

### **3. TECHNOLOGIE DE SÉCHAGE DES PAM**

Le séchage est l'une des opérations unitaires du génie des procédés industriels permettant la production des produits secs par évaporation partielle ou totale de l'eau d'un corps humide.

Il a pour objectif:

- de faciliter la conservation du produit par la diminution de l'activité de l'eau;
- d'alléger le produit et réduire son volume, ce qui permet de diminuer les frais de stockage et de transport.

Le séchage peut être réalisé selon deux modes fondamentalement différents: par ébullition ou par entraînement.

Dans le premier cas, l'opération consiste à porter le produit à une température telle que son eau soit portée à ébullition ou à sublimation. Cette eau passe à l'état de vapeur et s'élimine du produit sous cette forme.

Dans le cas de l'entraînement, il s'agit de placer le produit dans un courant d'air (gaz) suffisamment chaud et sec. L'air cède sa chaleur au produit par convection et conduction. Le produit libère son eau par suite de l'écart positif entre les pressions de vapeur de l'eau dans le produit, d'une part, et dans l'air, d'autre part. Cette différence constitue le facteur thermodynamique de transfert de l'eau du produit à sécher vers l'air de séchage.

Pour des raisons de coût et de maîtrise des technologies, le dernier mode de séchage (séchage par entraînement) est le plus utilisé dans les industries agricoles et alimentaires et, en particulier, dans le séchage des plantes aromatiques et médicinales. La vitesse de séchage (durée de séchage) dépend donc du produit, de la température de l'air, de son degré hygrométrique, de la vitesse de circulation de l'air ainsi que du degré de contact entre l'air de séchage et la masse du produit à sécher.

### 3.1. Grandeurs thermodynamiques conditionnant l'opération de séchage

Dans une opération de séchage, deux milieux sont mis en contact:

- Le produit à sécher. Dans notre cas il s'agit d'une plante aromatique et/ou médicinale
- L'air de séchage. Il s'agit du fluide qui apporte l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau à éliminer de la plante et qui sert en même temps à transporter la vapeur d'eau produite pour l'éliminer vers l'extérieur de l'enceinte du séchage.

#### 3.1.1. Humidité d'un produit (H) et son activité d'eau ( $a_w$ )

Le premier milieu, la plante à sécher dans notre cas, est caractérisé, entre autres, par deux grandeurs thermodynamiques dont la connaissance est importante pour la maîtrise de l'opération de séchage. Il s'agit de la teneur en eau de la plante et de l'activité de l'eau du produit.

La teneur en eau de la plante appelée aussi «humidité de la plante» est généralement exprimée en % de matière humide. Cette grandeur est habituellement déterminée par étuvage à 104°C jusqu'à poids constant. Souvent, cette opération est réalisée par étuvage à 104°C pendant 4h.

$$\text{Humidité (H)} = (M_i - M_f) \times 100 / M_i$$

Avec: H = Humidité en % de matière humide

$M_i$  = Masse de l'échantillon avant étuvage

$M_f$  = Masse du produit après étuvage

Le tableau 10 donne des exemples d'humidités de quelques plantes aromatiques et médicinales à la récolte.

**Tableau 10. Teneur en eau à la récolte de 20 plantes (Iteipmai, 1995)**

Plante	Partie considérée	Humidité à la récolte (en %)	Rapport F/S (1)	Rapport E/F (2)
Grande absinthe	Partie aérienne	72	2,5	0,6
Basilic	Feuille	82-89	5,0	0,8
Camomille	Fleurs	75-84	2,9	0,65
Estragon	Feuilles	74	2,5	0,6
Gentiane	Racines	77	2,5	0,6
Hysope	Feuilles	77-78	2,5	0,6
Mélicse	Feuilles	63-82	2,9	0,65
Menthe douce	Feuilles	74-87	3,3	0,7
Origan	Sommités	74-78	2,5	0,6
Persil	Partie aérienne	82-83	4,0	0,75
Reine des prés	Partie aérienne	70-80	2,5	0,6
Romarin	Feuilles	70	2,2	0,55
Sarriette	Feuilles	53-72	2,0	0,5
Sauge officinale	Feuilles	75-80	2,9	0,65
Thym	Feuilles	72-75	2,5	0,6
Tilleul	Bractées	70	2,2	0,55
Verveine	Feuilles	72-80	2,5	0,6

(1) Ratio F/S (frais/sec): masse de produit frais récolté pour un kg de produit obtenu après séchage.

(2) Ratio E /F (eau/frais): masse d'eau à évaporer au cours du séchage pour un kg de produit frais à sécher

Alors que  $H$  exprime la quantité d'eau existante dans le produit, l'activité de l'eau ( $a_w$ ) du produit représente la disponibilité de cette eau pour permettre différentes fonctions biologiques: activités enzymatiques et réactions biochimiques, possibilités de développement de micro-organismes dans le milieu, etc. En effet, la quantité d'eau existante dans le produit n'est pas disponible (ou libre) à 100%. Une partie de cette eau est effectivement libre et peut être, par exemple, facilement éliminée durant le séchage. L'autre fraction est plus ou moins liée à d'autres constituants du produit. Son élimination, lors du séchage, est par conséquent plus difficile.  $a_w$  est une grandeur variant de 0 à 1. Elle exprime une certaine disponibilité.  $a_w = 1$  signifie que l'eau est totalement disponible (libre). C'est le cas d'un milieu constitué d'eau pure.  $a_w$  voisine de zéro signifie que l'eau est totalement liée et qu'il est très difficile de l'éliminer par séchage.

On reviendra plus loin sur la définition et la méthode de détermination de  $a_w$

### 3.1.2. Teneur en eau et humidité relative de l'air

Le deuxième milieu, l'air de séchage, peut être caractérisé par trois grandeurs essentielles pour l'opération de séchage:

- température,
- teneur en eau, souvent exprimée en g d'eau par g d'air sec,
- humidité relative, HR.

HR est définie comme étant le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air considéré,  $P_{ve}$ , à la pression de la vapeur d'eau dans l'air saturé ( $P_s$ ) à la même température. Ce rapport est généralement exprimé en %:

$$HR = (P_{ve} / P_s) \times 100$$

$P_{ve}$ : la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air peut être reliée à la teneur en eau de cet air par la relation des gaz parfaits (en admettant que la vapeur d'eau est proche d'un gaz parfait)

### 3.1.3. Humidité relative d'équilibre et $a_w$

Quand on met un produit, comme une plante aromatique, en présence d'une quantité d'air dans un milieu fermé, un échange s'opère entre les deux milieux. L'échange concerne la chaleur et l'eau sous forme de vapeur.

Cet échange se poursuit jusqu'à l'établissement d'équilibre:

- La température du produit est égale à la température de l'air.
- Les échanges de vapeur d'eau entre le produit et l'air sont nuls (en moyenne dans le temps). Autrement dit, les teneurs en eau dans l'air et dans le produit ne changent plus.

L'humidité relative de l'air (HR) dans cet état d'équilibre est alors appelée humidité relative d'équilibre ou HRE.

Quand la quantité d'air mise en contact du produit, ainsi que ses caractéristiques thermodynamiques (en particulier T et HR) au départ, sont telles que l'équilibre puisse être atteint sans que l'humidité initiale de la plante ne change de façon significative, l'HRE de l'air est égale à  $a_w$  du produit.

$$HRE/100 = a_w$$

D'où:

$$a_w = \text{HRE} / 100$$

$$= \text{Pvapeur d'eau à l'équilibre} / \text{Pvapeur d'eau à la saturation}$$

Avec:

- Pvapeur d'eau à l'équilibre: pression partielle de vapeur d'eau dans l'air se trouvant en équilibre thermodynamique avec le produit.
- Pvapeur eau à la saturation: pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air saturé à la même température.

Les relations entre les différentes grandeurs thermodynamiques de l'air (T, HR, Teneur en eau, Pression de vapeur d'eau à la saturation) peuvent être déterminées grâce au diagramme enthalpique de l'air humide (Figure 9).

L'activité de l'eau est une grandeur particulièrement intéressante pour juger la stabilité d'un produit biologique comme une plante aromatique et/ou médicinale:

- En général, les bactéries ne se développent que pour des  $a_w > 0.9$ .
- Les levures se développent à  $a_w > 0.88$ .
- Les moisissures exigent des  $a_w > 0.80$ .

### **3.1.4. Courbe de sorption d'un produit**

La teneur en eau ou l'humidité d'un produit quelconque, telle qu'une plante, est différente de son activité de l'eau ( $a_w$ ) comme on vient de le préciser.

Toutefois, il existe pour chaque produit biologique une courbe caractéristique qui représente la relation entre les deux grandeurs: Humidité (H) = f ( $a_w$ ). Cette courbe, qui ne peut être établie qu'expérimentalement, est appelée courbe de sorption pour le produit considéré. Elle varie avec la température du produit (Figure 10).

Pour une même teneur en eau, l'activité de l'eau d'un produit ( $a_w$ ) augmente avec la température. Autrement dit, pour une même teneur en eau, un produit stable à une température donnée peut devenir particulièrement labile à une température plus élevée à cause de l'augmentation de  $a_w$ .

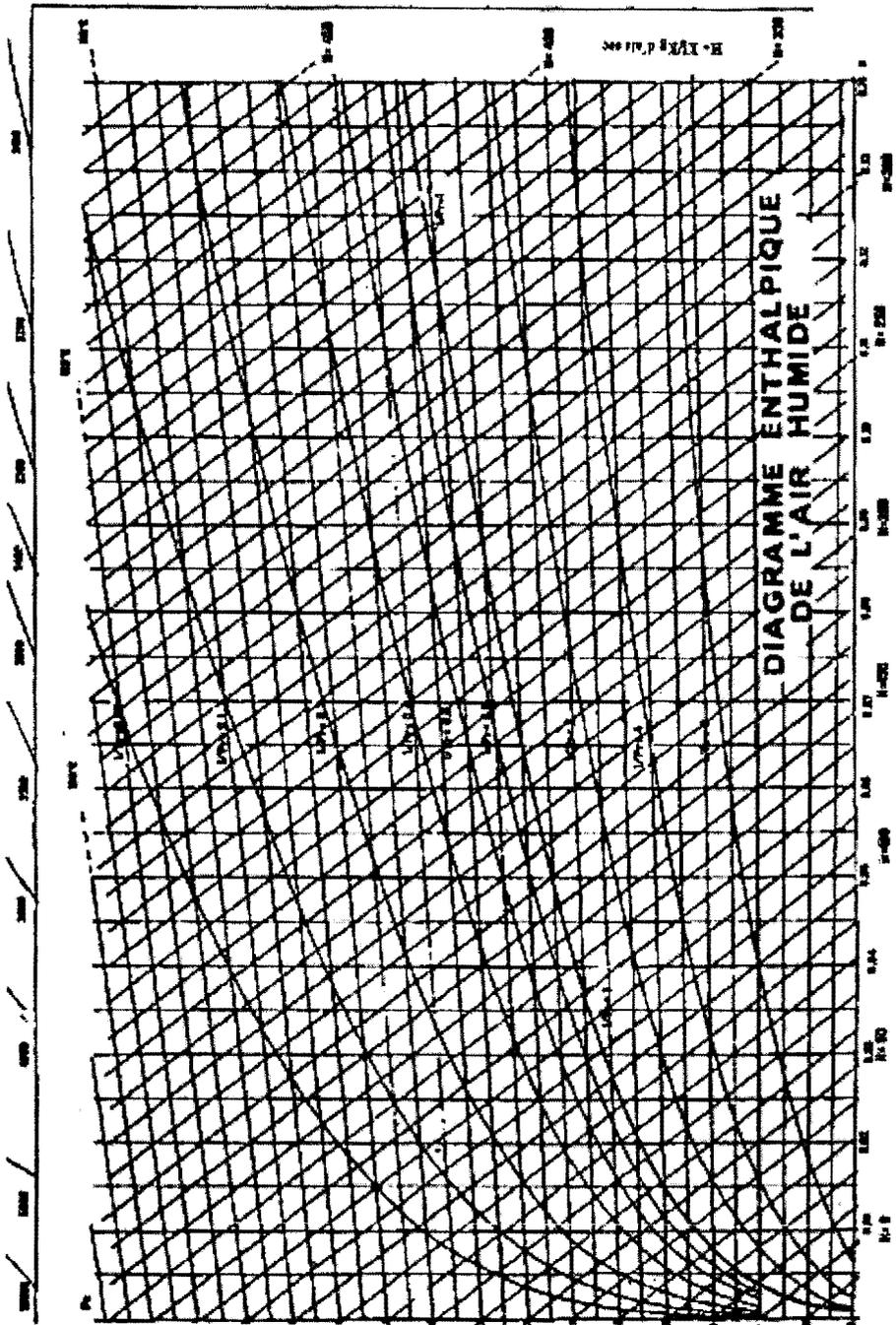


Figure 9. Diagramme enthalpique de l'air humide

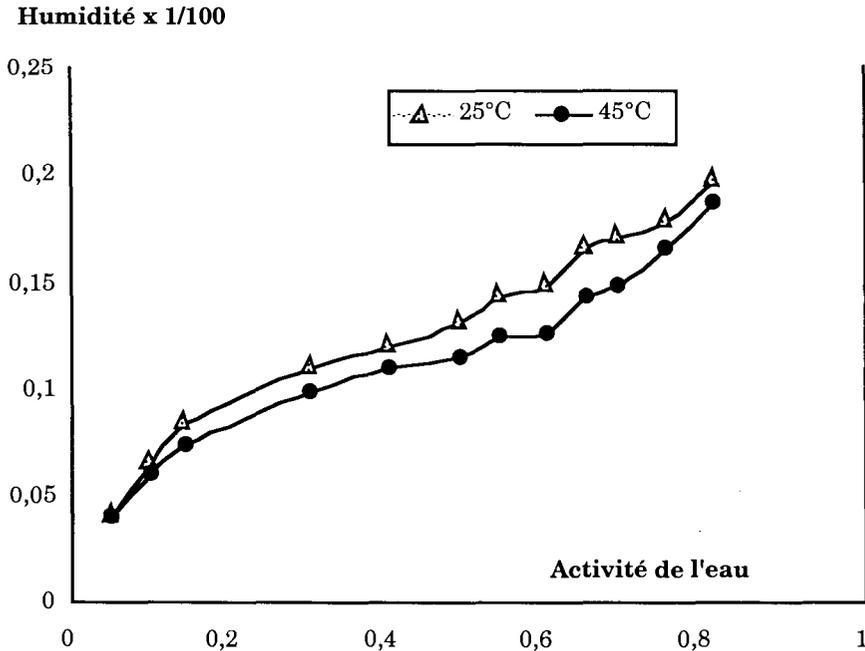


Figure 10. Isothermes de sorption d'un produit alimentaire  
D'après Labuza *et al.* (1985)

### 3.1.5. Désorption et adsorption de l'eau par un produit biologique

Dans la figure 10, la teneur en eau d'un produit est représentée en fonction de l'activité de l'eau du même produit. Si on essaie maintenant de représenter la même grandeur (teneur en eau de la plante) en fonction de l'HRE de l'air (qui serait en équilibre avec le produit) on obtiendra deux courbes différentes:

- Une courbe de désorption. Dans cette situation, le produit humide mis en contact avec l'air perd de l'eau avant que l'équilibre ne soit atteint. Le produit se dessèche.
- Une courbe d'adsorption. Dans ce cas, le produit relativement sec absorbe l'humidité de l'air pour se mettre en équilibre avec ce dernier.

L'expérience montre que les deux courbes précédentes ne sont pas toujours identiques. La figure 11 représente ce phénomène. On peut ainsi noter que, pour une même activité de l'eau ( $a_w$ ), on peut avoir

deux niveaux d'humidité différents selon le chemin suivi pour l'obtention du produit considéré: soit à partir d'un produit humide qu'on a partiellement desséché au contact de l'air (désorption), soit à partir d'un produit suffisamment sec qu'on a superficiellement humidifié au contact de l'air (adsorption). Les plantes aromatiques et médicinales n'échappent pas à cette règle.

#### Humidité de la plante x 1/100

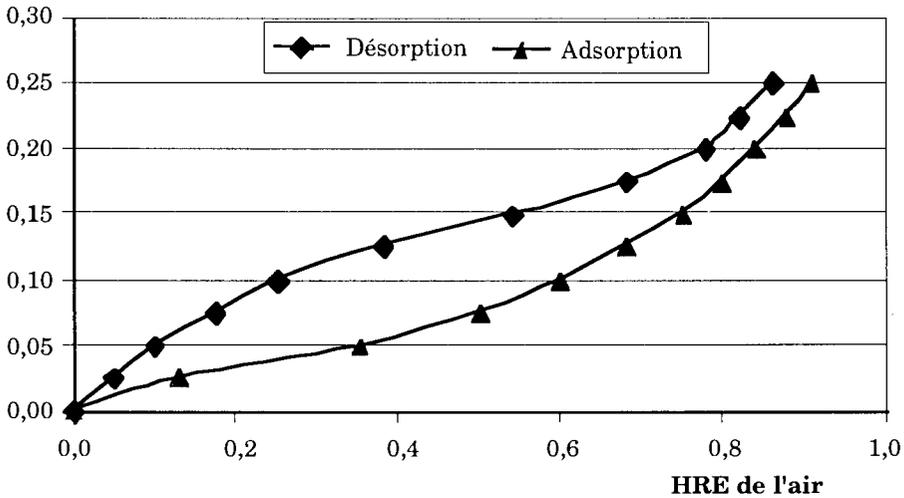


Figure 11. Courbes de désorption et d'adsorption d'une plante aromatique D'après Iteipmai (1992)

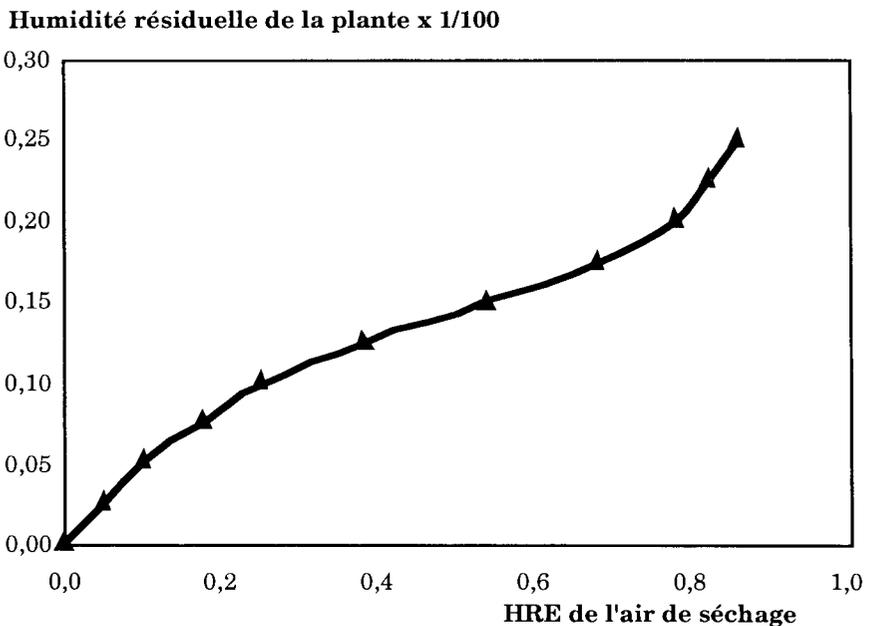
Le phénomène de désorption / adsorption est techniquement important pour plusieurs raisons:

- On peut être intéressé par l'élaboration d'un produit à  $a_w$  suffisamment basse pour lui assurer une bonne stabilité tout en ayant une humidité suffisante pour avoir un aspect plus ou moins compact. Dans ce cas, on a tout intérêt à partir d'un produit suffisamment humide pour le déshydrater par séchage.
- À l'inverse, on peut chercher un produit qui a l' $a_w$  qu'il faut pour sa stabilité, mais qui a en même temps une teneur en eau la plus faible possible pour avoir un aspect plus pulvérulent. Dans ce cas, on a intérêt à partir d'un produit suffisamment sec qu'on réhydrate partiellement au contact de l'air.
- Un produit sec mis en contact avec de l'air suffisamment humide (HR relativement élevée) peut commencer à adsorber l'humidité de l'air (mauvaises conditions de stockage, emballage peu efficient,

etc.). Il peut en résulter une augmentation de  $a_w$  qui portera préjudice à la stabilité du produit même si l'humidité de ce dernier n'a que faiblement changé. Cet aspect du phénomène intéresse tous les produits séchés, dont les plantes aromatiques et médicinales, conditionnées et stockées dans de mauvaises conditions.

### 3.1.6. Pouvoir hygroscopique d'un produit

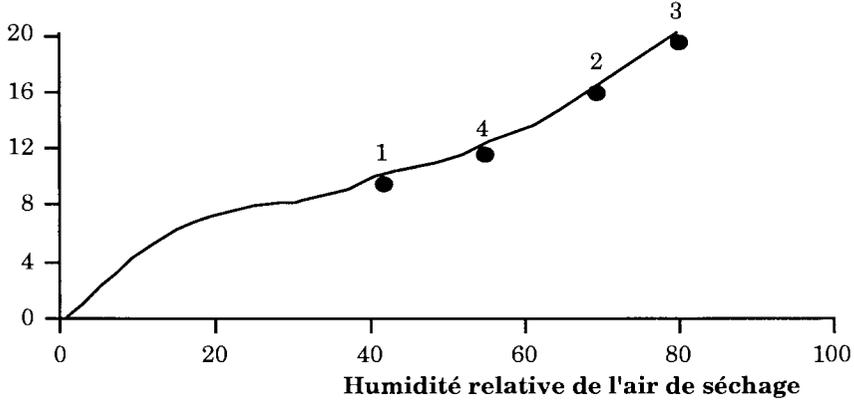
À partir de la figure 11, on peut déduire la courbe de désorption d'une plante aromatique par exemple qui donne l'humidité résiduelle dans la plante après séchage en fonction de l'humidité relative d'équilibre (HRE) de l'air de séchage (Figure 12).



**Figure 12. Relation entre l'HRE de l'air de séchage et l'humidité résiduelle dans la plante séchée**  
D'après Iteipmai (1992)

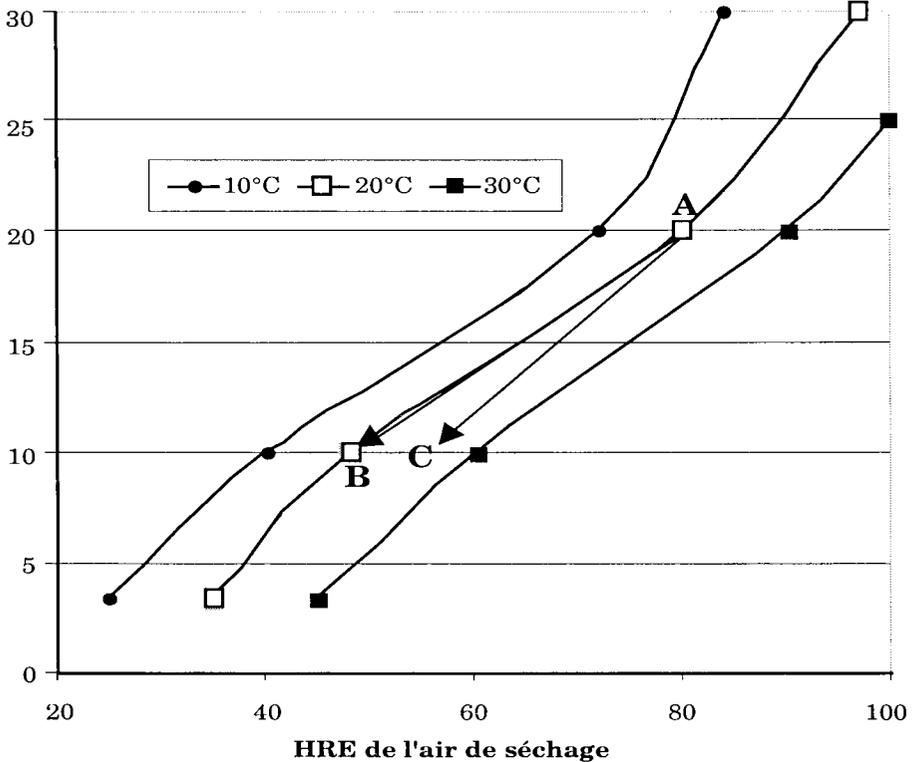
La figure 13 donne un exemple de courbe hygroscopique d'une plante médicinale. Il s'agit de la camomille. Les courbes hygroscopiques dépendent de la température de l'air de séchage (Figure 14).

**Teneur en eau résiduelle du produit (%)**



**Figure 13. Courbe d'équilibre hygroscopique de la camomille**  
D'après Iteipmai (1992)

**Humidité résiduelle de la plante à l'équilibre**



**Figure 14. Exemple d'équilibres hygroscopiques pour une plante aromatique à différentes températures de l'air de séchage**  
D'après Iteipmai (1992)

La figure 14 montre qu'avec de l'air à 20°C et une HRE de 80%, on ne peut sécher la plante considérée à moins de 20% d'humidité (Point A sur la figure). Pour faire baisser la teneur en eau du produit à 10%, il faut soit dessécher l'air jusqu'à moins de 50% d'HR (pour pouvoir obtenir une HRE = 50% environ) en réalisant une transformation isotherme de l'air (Point B), soit chauffer le même air jusqu'à 27°C environ. Son HR est alors de 55% (Cf. Figure 9). Le point C (Figure 14) représente le nouvel état d'équilibre à la fin du séchage.

### 3.1.7. Pouvoir évaporatoire (Pé) de l'air de séchage

La quantité de vapeur d'eau maximale, exprimée en g d'eau par kg d'air sec que cet air est capable d'entraîner avec lui dans des conditions thermodynamiques données (P, T et HR en particulier), est appelée pouvoir évaporatoire (Pé) de l'aire de séchage. Le Pé peut être calculé de deux manières:

- Pé théorique: différence entre la teneur en eau (g d'eau par kg d'air sec) de l'air considéré et celle de l'air saturé à la même température:

$$\text{Pé théorique (g d'eau/kg d'air sec)} = W_2 - W_1$$

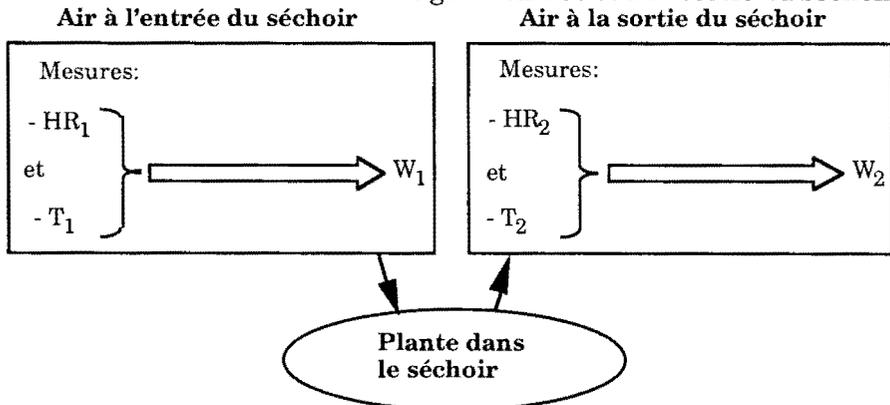
Avec:

$W_1$ : teneur en eau de l'air considéré (g d'eau/ kg d'air sec) dans les conditions thermodynamiques précises

$W_2$ : teneur en eau de l'air saturé dans les mêmes conditions thermodynamiques. Cette valeur est donnée par le diagramme de l'air humide (Figure 9).

Le Pé théorique ne se rapproche des données réelles qu'au début du séchage.

- Pé pratique: différence entre les résultats des mesures réalisées effectivement sur l'air de séchage à l'entrée et à la sortie du séchoir.



$$\text{Pé pratique} = W_2 - W_1 \text{ (g d'eau par kg d'air sec)}$$

Le pouvoir évaporatoire pratique est un élément fondamental pour juger la performance d'un séchoir et pour calculer une installation. Il dépend de l'équipement, mais aussi de la plante (pouvoir hygroscopique et niveau d'hydratation). Ce pouvoir évaporatoire régresse durant le séchage.

La figure 15 illustre la relation qui existe entre la température, le pouvoir évaporatoire et l'humidité relative de l'air de séchage.

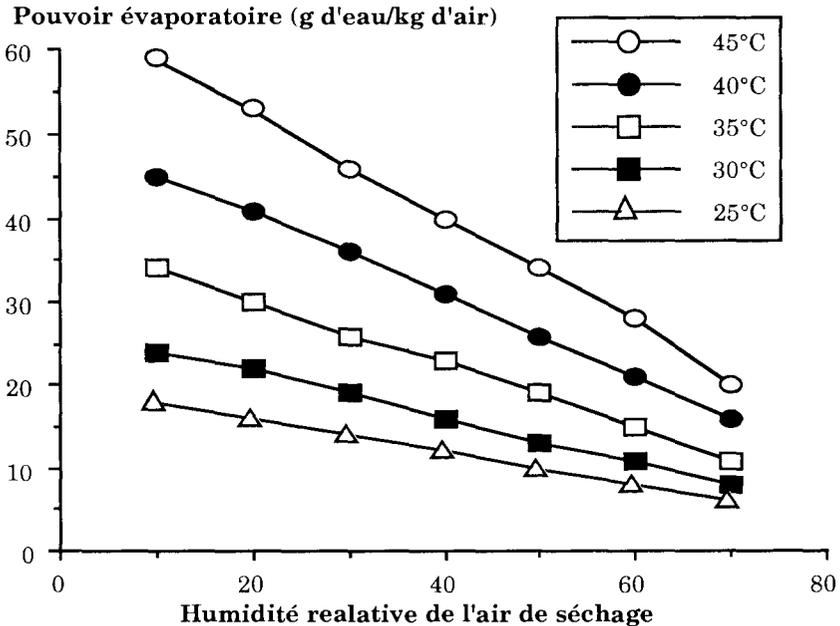


Figure 15. Pouvoir évaporatoire théorique de l'air à différentes températures

Pour une même température, le pouvoir évaporatoire de l'air baisse de façon linéaire lorsque son humidité relative augmente. Pour une même HR, le pouvoir évaporatoire augmente avec la température de l'air de séchage.

### 3.1.8. Coefficient de séchage

Le pouvoir évaporatoire de l'air n'est pas efficace en totalité, surtout en fin de séchage. On peut mesurer cette efficacité par le coefficient

de séchage qui est défini comme étant le rapport entre la quantité d'eau réellement évaporée et le pouvoir évaporatoire théorique de l'air. Le coefficient de séchage varie fortement au cours de l'opération (séchage). Il peut être égal à 1, dans certaines conditions, au début, il diminue ensuite rapidement. Généralement, le coefficient de séchage global est très inférieur à 1. À la sortie du séchoir, il reste toujours un pouvoir évaporatoire, plus ou moins important, qui n'a pas été utilisé.

Ceci est dû au fait que la vitesse de transfert de l'eau de la plante vers l'air est proportionnelle au potentiel d'échange qui est égal à HRE - HR.

Au cours du séchage, il se passe deux phénomènes en parallèle:

- La teneur en eau de la plante baisse, donc son  $a_w$  baisse et, par conséquent, HRE de l'air baisse (à l'équilibre,  $a_w$  de la plante = HRE de l'air).
- La teneur en eau de l'air de séchage augmente, donc son humidité relative HR augmente.

De ce fait, le potentiel d'échange (HRE - HR) baisse. Ainsi, pour des raisons pratiques et économiques, on évacue l'air de séchage ou on le remplace (s'il le faut) bien avant que ce potentiel ne s'annule vraiment.

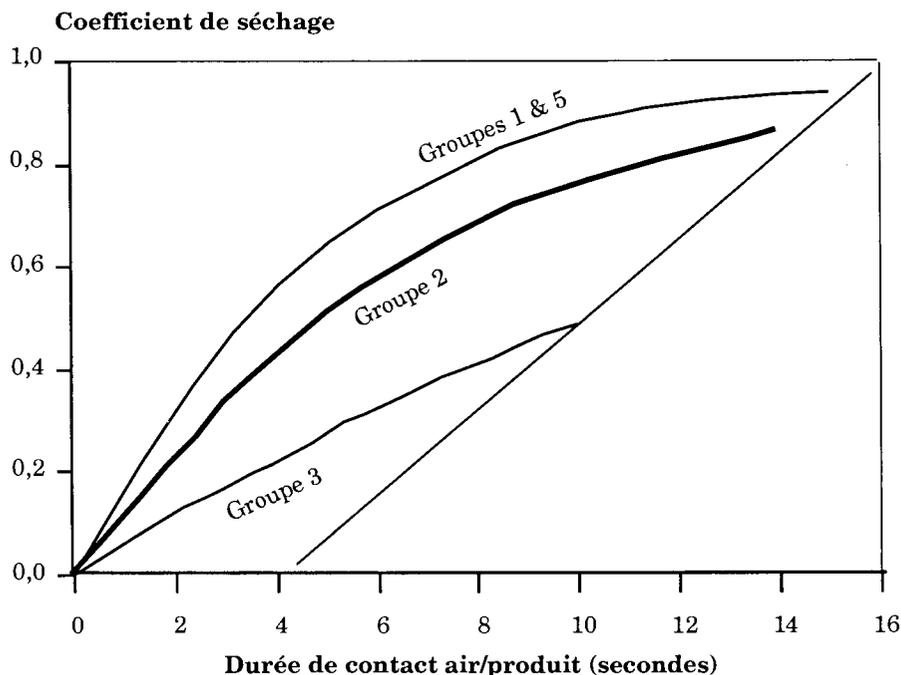
Des recherches ont été réalisées en matière de détermination des coefficients de séchage pour quelques plantes aromatiques et médicinales. Les résultats obtenus ont permis de classer les plantes en sept groupes selon leur comportement au séchage (Tableau 11).

**Tableau 11. Comportement des plantes au séchage (Markus & Ankila, 1995)**

Groupe	Type de produit	Exemples
1	Feuilles très faciles à sécher	Thym, verveine
2	Feuilles faciles à sécher	Menthe, mélisse, absinthe, origan, lavande
3	Feuilles difficiles à sécher	Sauge, sarriette, tilleul, frêne, noisette, hysope
4	Plantes très difficiles à sécher	Basilic, persil, ciboulette
5	fleurs	Camomille
6	Racines	Gentiane, Valériane
7	Graines	Fenouil, aneth, cumin, anis

Notons que ce classement n'est qu'indicatif et susceptible de varier selon les conditions de séchage (plantes entières ou non, variétés différentes).

Pour chaque groupe de plantes (sauf dans les cas exceptionnels), le coefficient de séchage moyen dans le temps se déduit facilement en fonction de la durée de contact air/produit. Il servira lors des calculs des dimensions des séchoirs (Figure 16).



**Figure 16. Coefficient de séchage selon les groupes**

D'après Ankila (1997)

Note: pour les produits de type 4, 6 ou 7, on ne dispose pas de données dans la littérature

À la fin de cette période, le produit est en équilibre avec l'air et la vitesse de séchage est nulle (Iteipmai, 1995). Une bonne gestion de l'opération de séchage passe par la maîtrise des facteurs précédents (Cf. § 3.1.1 à 3.1.8).

### 3.2. Séchage par entraînement

L'air éventuellement traité (réchauffage, déshumidification) entraîne l'eau de la plante par convection naturelle ou forcée. Cette technique

est la plus simple et la plus utilisée actuellement dans le cas du séchage naturel en claie et en grenier ou du séchage artificiel en caisson ventilé ou en fours de déshydratation.

Au cours du séchage, il se produit:

- une vaporisation de l'eau du produit,
- un accroissement de la température du produit,
- une diminution de la température de l'air et une augmentation de son humidité.

Ces évolutions s'accompagnent d'échanges énergie/matière (eau) qui dépendent des caractéristiques de l'air et des niveaux de liaisons de l'eau dans la plante. En règle générale, on distingue trois phases successives (Encadrés 17, 18, 19 & 20).

### **Encadré 17. Caractéristiques physico-chimiques du produit et son aptitude au séchage**

#### **1. Teneur en eau ou humidité (H) du produit**

Elle est généralement:

- exprimée en % de matière humide;
- déterminée par étuvage à 104°C jusqu'à poids constant (3 à 4h d'étuvage environ).

Pour une même plante, le séchage est d'autant plus long et coûteux que H est élevée.

À la récolte, H varie, en général pour les PAM, de 50 à 80%.

#### **2. Activité de l'eau du produit ( $a_w$ )**

$a_w$  d'un produit est égale au rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau dans un air en équilibre avec ce produit et la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air saturé dans les mêmes conditions thermodynamiques où se trouve le produit (température et pression).

$$0 \leq a_w \leq 1$$

$a_w$  exprime le degré de liberté de l'eau dans le produit. Plus  $a_w$  est grande et plus l'eau du produit est libre et facile à éliminer par séchage et inversement.

$a_w$  renseigne sur la stabilité du produit:

- les réactions enzymatiques sont arrêtées à  $a_w \leq 0,9$
- le développement de levures et moisissures est bloqué pour  $a_w < 0,8$

#### **3. Courbe de sorption d'un produit**

Il s'agit d'une courbe caractéristique du produit qui représente la relation:

H: f( $a_w$ ) pour le même produit.

Cette courbe ne peut être établie qu'expérimentalement. Elle diffère d'un produit à un autre.

Quand on connaît cette courbe, on peut, à partir de la teneur en eau (H du produit), déduire son  $a_w$  et donc évaluer sa stabilité (stockage par exemple) et le degré de difficulté de son séchage.

#### 4. Courbe d'équilibre hygroscopique du produit

Il s'agit d'une courbe qui représente, pour le produit considéré, la teneur en eau résiduelle dans ce produit après séchage en fonction de l'humidité relative de l'air en équilibre avec ce produit (HRE) (Cf. Figure 14). Cette courbe caractéristique de chaque produit, qui ne peut être établie qu'expérimentalement, dépend de la température de l'air de séchage (Figure 15). Elle traduit, en pratique, la teneur en eau résiduelle minimale qu'on peut atteindre dans le produit par séchage à l'aide d'un air à HR et à température données.

#### Encadré 18. Grandeurs thermodynamiques et physiques conditionnant les capacités de l'air pour le séchage par entraînement

Quatre grandeurs physiques peuvent être utilisées pour évaluer l'efficacité de l'air comme air de séchage.

##### 1. Teneur en eau de l'air

L'air utilisé pour le séchage du produit par entraînement contient toujours, au départ, une certaine quantité d'eau à l'état de vapeur, généralement exprimée en g d'eau par kg d'air sec (n). Cette masse de vapeur d'eau peut être exprimée en pression partielle de vapeur d'eau (Pve) qui peut être calculée à partir de la valeur de n, en admettant que la vapeur d'eau et l'air sont des gaz parfaits. La même valeur, Pve, peut être déterminée à partir du diagramme enthalpique de l'air (Figure 9) connaissant n et la température de l'air (par exemple).

Dans des conditions thermodynamiques données (température et pression essentiellement), il existe une valeur maximale de Pve dite pression partielle de vapeur d'eau dans l'air saturé (Ps). Au-delà de cette valeur, l'air perd l'excès de la vapeur d'eau par condensation de cette dernière. Ps peut être déterminée à partir du diagramme enthalpique de l'air dans les mêmes conditions que pour Pve.

##### 2. Humidité relative de l'air

Dans des conditions thermodynamiques données (température et pression), l'humidité relative (HR) en % est définie comme suit:

$$HR = (Pve/Ps) \times 100$$

##### 3. Pouvoir évaporatoire (théorique) (Pé.th.) de l'air de séchage

Cette grandeur exprime la quantité maximale d'eau que l'air considéré est capable d'entraîner au cours du séchage. Pé.th. s'exprime en g d'eau par kg d'air sec. Il est égal à:

$$Pé.th. = N - n$$

Avec:

N = masse d'eau (g d'eau/kg d'air sec) dans l'air saturé en eau aux mêmes température et pression que l'air considéré.

n = masse d'eau (g d'eau/kg d'air sec) dans l'air considéré.

Le Pé.th. de l'air ou sa capacité maximale de séchage est donc fonction, entre autres, de sa teneur en eau (HR) et de sa température (N est fonction de la température de l'air) (Cf. Figure 14). À une température de séchage donnée, plus l'air est sec (HR faible), plus son Pé.th. et donc sa capacité de séchage sont élevés. Inversement, pour une même teneur en eau (n) de l'air, la capacité de séchage de ce dernier augmente avec la température puisque sa teneur en eau à saturation (N) et par suite la pression partielle  $P_s$  augmentent (Cf. Diagramme enthalpique de l'air, Figure 9).

#### 4. Pouvoir évaporatoire pratique: Pé.p.

En pratique, on n'utilise jamais le pouvoir évaporatoire théorique de l'air de séchage à 100%. L'air quitte le séchoir sans être saturé. La teneur en eau de l'air, à la sortie du séchoir, dépend de l'équipement utilisé, des conditions d'utilisations de ce dernier (vitesse de circulation de l'air à l'intérieur du séchoir) et surtout de la nature du produit à sécher à savoir sa teneur en eau, son pouvoir hygroscopique et la teneur en eau résiduelle visée dans le produit fini (après séchage).

Ainsi, pour évaluer les performances d'un séchoir et dimensionner l'installation, on utilise, au lieu du Pé.th., le pouvoir évaporatoire pratique (Pé.p.) exprimé en g d'eau/kg d'air sec et défini comme suit:

$$\text{Pé.p.} = n_s - n_e$$

Avec:

$n_s$  = teneur en eau (g d'eau/kg air sec) à la sortie du séchoir.

$n_e$  = teneur en eau (g/kg air sec) à l'entrée du séchoir.

### Encadré 19. Eléments de calcul et de gestion d'un séchoir de PAM

#### 1. Pouvoir évaporatoire de l'air de séchage

Il n'est pas facile à utiliser en pratique, car il varie au cours de l'opération de séchage. En effet, le potentiel de transfert de l'eau du produit vers l'air diminue au cours du séchage (Cf. § 3.1.8) pour le même débit d'air. Donc  $n_s$  diminue et Pé.p. également (Encadré 16). On remplace, ainsi, le Pé.p. par une grandeur moyenne dite coefficient de séchage.

#### 2. Coefficient de séchage (global)

Il représente la quantité d'eau éliminée du produit à sécher (en g/kg d'air sec consommé dans l'opération de séchage) divisée par le pouvoir évaporatoire théorique, Pé.th. du même air (Encadré 17). Le coefficient de séchage est ainsi une grandeur sans dimension. Ce coefficient est plus pratique pour le dimensionnement d'un séchoir (voir Encadré 20).

#### 3. Suivi de l'opération de séchage

Pour un séchoir donné, le suivi de cette opération (gestion technique de l'opération) peut utiliser une grandeur appelée rapport de séchage (RS). Il s'agit du rapport entre le poids frais de la matière première et le poids du produit obtenu après séchage dont l'humidité résiduelle (Hr) est fixée par une norme quelconque (Norme AFNOR par exemple, Cf. § 4.2) ou par un cahier de charge vis-à-vis du client. Ce rapport varie, entre autres, avec le moment de récolte, le stade végétatif et la partie de la plante.

À titre d'exemple, on donne ci-dessous, les rapports de séchage de quelques PAM (Wicki, 1991) :

Basilic feuilles .....	5,5 à 6,6
Camomille romaine capitules .....	3,6 à 5,3
Matricaire capitules .....	4,3
Laurier feuilles .....	3
Marjolaine feuilles .....	4,2 à 4,5
Menthe feuilles .....	3,6 à 4,7
Origan rameaux/ feuilles .....	4,2
Verveine feuilles .....	3,5

Ce rapport de séchage (RS) peut être établi à l'avance connaissant l'humidité de la plante fraîche et l'humidité résiduelle (en %) attendue dans le produit fini. Un calcul simple permet d'établir la formule suivante:

$$RS = (MF/MS) \times [(100 - Hr)/100]$$

Avec: MF = Masse du produit avant séchage

MS = Masse de matière sèche correspondante à MF

Hr = Humidité résiduelle dans le produit fini en %

RS permet de fixer facilement, et de façon précise, à quel moment faut-il arrêter l'opération de séchage?

Exemple: soient des feuilles de basilic dont l'humidité = 85% et Hr dans le produit séché 10%

$$RS = 6 \quad \& \quad [(1/RS) \times 100] \approx 16$$

Autrement dit, dans ce cas précis, lorsque la masse du produit résultant du séchage est de l'ordre de 16% de celle du produit frais, l'opération est terminée et l'objectif de Hr = 10% est atteint.

### Encadré 20. Dimensionnement d'un séchoir pour les PAM

1. Soit un air de séchage à 30°C et à une humidité relative de 50%, le pouvoir évaporatoire théorique est de 13 g/kg d'air sec environ (Cf. Figure 15).
2. Cet air sera utilisé pour le séchage de la verveine feuille (produit du groupe 1; Tableau 11). Son humidité initiale est de 80% (Cf. Tableau 10) et l'humidité résiduelle dans le produit fini est de 10%.
3. Le coefficient de séchage dans ces conditions peut être calculé comme suit: 100 kg de matière fraîche à traiter perd 78 kg d'eau environ pour obtenir un produit à 10% d'humidité résiduelle. Le coefficient de séchage est alors égal à:  $78 / (\text{Masse d'air utilisé} \times \text{Pé.th.}) = 78 \times (10^3 / [13 \times M_{\text{air}}])$
4. À partir de la figure 16, on peut choisir la durée de contact air/produit (8 secondes par exemple) et déduire le coefficient de séchage dans le cas de la verveine, soit 0,8 environ. Il vient alors:  $0,8 = 78 \times (10^3 / [13 \times M_{\text{air}}])$  ou  $M_{\text{air}} = 78 \times (10^3 / [13 \times 0,8]) = 7500 \text{ kg}$
5. À la pression atmosphérique et à 30°C, 7500 kg d'air correspondent à un volume de:  $V = n R T / p = 10,9 \times 10^6 \text{ litres} = 10900 \text{ m}^3 \text{ d'air.}$
6. Soit la durée de séchage  $t = 10 \text{ h}$  par exemple, le débit d'air dans le séchoir est alors  $Q = V/t = 1090 \text{ m}^3/\text{heure}$ . Cette donnée permet de sélectionner les ventilateurs capables de garantir ce débit.

7. Le débit d'air est par ailleurs:

$Q$  = vitesse linéaire ( $v_1$ ) de circulation d'air x Section du séchoir ( $S$ ).

- La vitesse linéaire de l'air = longueur du séchoir ( $L$ )/ durée de contact air/ produit, soit 8 s:

$$v_1 = L/8 \text{ (m/s)} = 3600 \times L/8 \text{ (m/h)};$$

On a ainsi:

$$Q = V/t = v_1 \times S = (L \times 3600/8) \times S \\ = 450 \times L \times S = 1090 \text{ m}^3/\text{h}$$

D'où:

$$L \times S = 1090 / 450 = 2,42 \text{ m}^3$$

8. Grâce à la formule précédente, on peut dimensionner un séchoir en choisissant une deux variables  $L$  ou  $S$ . La deuxième est automatiquement fixée.

9. Ce dimensionnement dépend, évidemment, de la matière à traiter (teneur en eau initiale  $H$  et humidité résiduelle  $H_r$  dans le produit fini), de l'air de séchage (Pé.th.) et du temps de séjour de l'air dans le séchoir (vitesse de circulation de l'air).

### ***3.2.1. Phase de mise en température du produit***

La température du produit s'élève progressivement jusqu'à une valeur correspondant à la température humide de l'air de séchage. Le flux d'eau évaporée augmente (suite à l'augmentation de la pression de vapeur d'eau dans le produit) et l'activité d'eau à la surface du produit est voisine de 1.

### ***3.2.2. Phase de séchage à vitesse constante***

Le produit reste à la température humide de l'air, l'évaporation à la surface ne dépend que des conditions extérieures. La quantité d'eau libre disponible est très grande et une migration d'eau de l'intérieur du produit vers la périphérie remplace régulièrement l'eau évaporée. La vitesse de séchage est maximale, car l'activité d'eau du produit en surface est toujours voisine de 1.

### ***3.2.3. Phase de séchage à allure décroissante***

À partir d'une certaine teneur en eau du produit, appelée teneur en eau critique, l'activité d'eau à la surface du produit commence à diminuer et, par conséquent, la vitesse de séchage également. Le transfert de chaleur n'étant plus compensé par la vaporisation de l'eau, la température du produit augmente et tend asymptotiquement

vers la température de l'air. La vitesse de séchage n'est plus limitée par les caractéristiques de l'air (facteurs externes), mais par celles du produit, comme la migration interne de l'eau, la structure du produit, les solutés, etc. (facteurs internes).

### **3.3. Procédés de séchage des PAM**

#### **3.3.1. Séchage naturel**

Il comprend le séchage au soleil et ou à l'ombre, utilisant uniquement l'air ambiant sans aucun traitement particulier. Dans le premier cas, le produit est exposé directement au rayonnement solaire. Dans le deuxième cas, le produit est mis à sécher à l'ombre, à l'abri du rayonnement solaire direct. Ce deuxième procédé vise une meilleure protection du produit à sécher pour des raisons de photosensibilité (plantes vertes par exemple). Cette opération peut être réalisée dans un endroit ombragé, ou encore mieux dans un local qui lui est réservé. Le séchage naturel est un procédé pratiqué depuis l'origine des temps. Il est réalisé à une température inférieure au point d'ébullition de l'eau. Celle-ci s'élimine par le phénomène d'entraînement (*Cf.* § 2.1). L'air ambiant, chauffé naturellement par le soleil, se charge de réaliser le séchage. Ce type de séchage a l'avantage d'être peu coûteux en équipements puisqu'il ne nécessite que la main-d'œuvre pour étaler le produit en couche mince sur une surface et pour le ramasser. Cependant, il nécessite de grandes surfaces au sol et de longues durées. Par ailleurs, dans ce type de traitements, le produit n'est pas protégé contre divers facteurs qui affectent sa qualité: la poussière, les animaux surtout les rongeurs qui affectent la salubrité et les qualités hygiéniques du produit (poils d'animaux, restes d'excréments,...), les micro-organismes en particulier les champignons avec le risque de développement des mycotoxines, le risque des pluies dans le cas de séchage en plein air, etc.

Le séchage naturel peut être réalisé dans des séchoirs aménagés en claies mobiles. Ces dernières comportent un cadre rigide supportant soit un grillage plastique (le plus économique), soit un grillage métallique, soit une toile en jute (Encadré 21). Les plantes sont disposées en couches fines et homogènes sur les claies. La circulation de l'air doit être favorisée au maximum (Figure 17). Ce séchage naturel sur des claies a l'avantage de préserver la qualité du produit en protégeant ce dernier contre les diverses impuretés.

### Encadré 21. Construction d'un séchoir à claies

#### Critères de construction

Le choix du type de construction dépend des facteurs suivants:

- Les matériaux disponibles qui doivent être non polluants.
- Le coût de la main-d'œuvre, du matériel et du fonctionnement du séchoir.

Lors des calculs de dimensionnement et de la construction d'un séchoir, plusieurs critères entrent en jeu:

- la qualité, le volume et le poids de plantes à traiter au moment de pointe de l'activité du séchoir;
- le nombre de claies qui seront immobilisées en moyenne, en tenant compte du poids des plantes (fraîches que l'on devra mettre sur les claies);
- la durée de séchage de la plante;
- les contraintes microclimatiques qui agissent sur le séchage (un fond de vallée sera moins propice que le sommet d'une montagne);
- les températures maximales et l'hygrométrie du milieu (printemps/automne);
- la possibilité d'améliorer le pouvoir évaporatoire de l'air en augmentant sa température moyennant un capteur solaire, un déshydrateur, etc.
- la possibilité de créer des courants d'airs naturels ou artificiels (ventilateurs) pour accélérer la circulation de l'air et donc son efficacité de séchage (Wicki, 1991).

#### Technique de construction

Les séchoirs à claies offrent jusqu'à ce jour la meilleure méthode de séchage. Ils sont constitués d'échelles en bois entre lesquelles on glisse des cadres (claies) où l'on a tendu du filet de pêche ou du tissu. Les plantes y séchent en couche unique ou très mince.

La fabrication des claies de séchage se fait à l'aide de quatre armatures en bois d'une section de 4x4 cm. Sur ces armatures, on fixe du filet de pêche (maille 6, 7 ou 8 mm) ou du tissu. On pose, ensuite, le filet sur les claies en gardant la partie excédentaire du filet vers soi. Après avoir fixé le filet sur le côté opposé, on le tend vers soi et on l'agrafe sur l'armature. On agrafe ensuite les bords.

On construit les échelles de préférence fixes, munies de glissières en bois de 1 à 2,7 centimètres d'épaisseur, sur lesquelles on glisse les claies. La distance entre les claies varie de 10 à 30 cm selon les espèces que l'on récolte.

Le nombre de claies doit être suffisant pour recevoir toutes les plantes que l'on veut récolter aux moments de pointe.

Voici à titre indicatif les poids de plantes fraîches admissibles par mètre carré de séchage:

0,5 kg .....	mauve, sureau, violettes
0,8 kg .....	basilic, camomille, estragon, fenouil feuilles, sauge, mélisse feuilles, pensée sauvage sommités, serpolet, souci;
1 kg .....	cynorrhodon, romarin, sarriette, thym (Wicki, 1991).

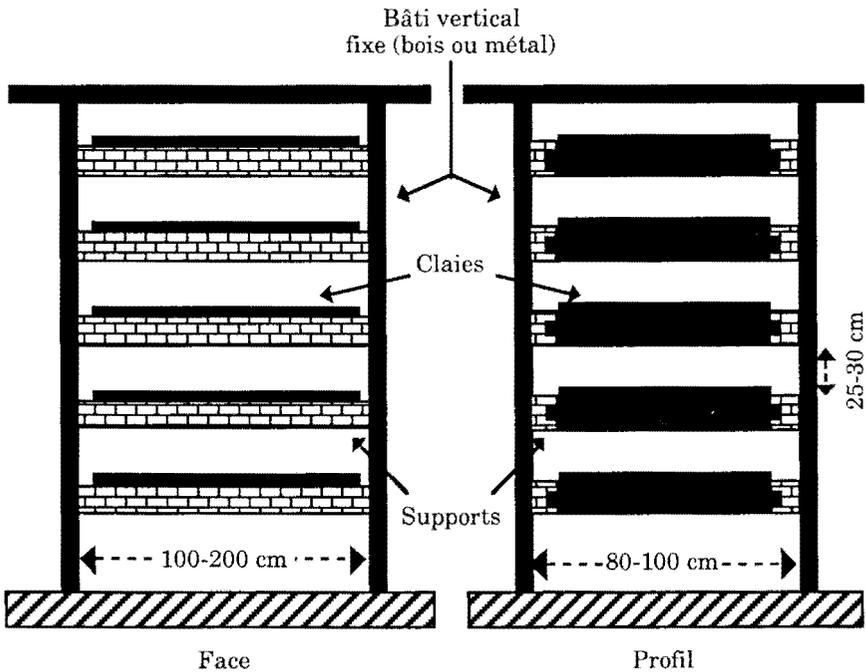


Figure 17. Séchage naturel avec claies mobiles

### 3.3.2. Séchage industriel classique

Le procédé industriel utilise de l'énergie produite par combustion de différentes sources (charbon, gasoil, fuel,...) pour chauffer l'air de séchage. Le séchage industriel est particulièrement recommandé quand on doit sécher de grandes quantités de plantes. Par ailleurs, le séchage industriel permet de maîtriser les paramètres de contrôle: débit d'air, température de l'air, degré hygrométrique de l'air de séchage à l'entrée et à la sortie du séchoir, durée de contact,... Cette maîtrise des paramètres de séchage, ajoutée à la durée de séchage qui est beaucoup plus courte que dans le cas du séchage naturel (quelques heures au lieu de plusieurs jours) en plus de la maîtrise des conditions hygiéniques des opérations permet d'obtenir des produits séchés de très bonne qualité. Cependant, le séchage industriel demande des coûts d'installation onéreux.

Les séchoirs industriels peuvent être statiques ou dynamiques. En statique, les lots sont immobiles tout le long du séchage, seul le

brassage intervient. Pour des volumes importants de plantes, le recours au réchauffage et à la ventilation s'impose pour accélérer et sécuriser le séchage. Suivant le type et le volume de matériel végétal à traiter, les séchoirs statiques peuvent être équipées d'armoire à claies, de chambre de séchage ou de caissons.

Les séchoirs dynamiques permettent de traiter la matière végétale en continu. Le déplacement se fait dans une enceinte de type tunnel à l'aide de tapis mécaniques. Les séchoirs dynamiques sont constitués d'une succession de tapis intercalés et de brasseurs dans un tunnel à sections et aux paramètres spécifiques (température, humidité relative). Le produit subit un séchage dans des conditions précises relatives à son humidité et à ses propriétés intrinsèques (sensibilité à la température et à l'oxygène). L'air de fin du séchage est recyclé en première phase. Malgré les recyclages de l'air, la capacité relativement élevée du séchoir ainsi que l'économie en main-d'œuvre, le coût de revient de ces séchoirs reste élevé (Iteipmai, 1995).

### ***3.3.3. Séchage industriel utilisant l'énergie solaire***

Dans l'espoir de réduire les coûts de consommation en fuel et produits similaires, les chercheurs se sont orientés, depuis plusieurs décennies, vers un séchage industriel utilisant l'énergie solaire. C'est une technologie de conception et pratique plus récentes. Il s'agit de tout procédé qui utilise le soleil comme principale source d'énergie pour la déshydratation des produits. Ce mode de séchage pour les plantes aromatiques est aujourd'hui particulièrement recommandé pour les zones très bien ensoleillées et surtout dans le cas de petites et moyennes quantités à sécher.

L'air ambiant chauffé dans un capteur d'énergie solaire est dirigé vers une enceinte pour le séchage du produit. Pour tenir compte de la variation de l'intensité du rayonnement solaire et éviter une éventuelle reprise de l'humidité, la nuit, par le produit, un système de stockage de l'énergie solaire ou de chauffage conventionnel de l'air peut être envisagé (Senhaji, 1992). La circulation de l'air dans le capteur peut être libre ou forcée. Toutefois, on préfère généralement le 2<sup>ème</sup> procédé compte tenu de l'influence de la vitesse de l'air sur la vitesse de séchage. L'utilisation d'un système photovoltaïque est envisageable pour actionner le ventilateur.

### 3.3.3.1. Eléments du séchoir solaire

Le capteur chauffe-air peut prendre différentes configurations. Cela peut varier du toit d'un bâtiment aménagé en capteur au capteur sophistiqué spécialement construit pour un système donné. La puissance thermique du capteur est directement liée notamment à la surface du capteur et au débit d'air chauffé (Senhaji, 1992).

L'enceinte du séchoir doit être conçue de façon à assurer un contact optimal entre le produit à sécher et l'air. Elle est munie d'une entrée pour l'air chaud et sec provenant du capteur et une sortie pour l'air chargé d'humidité. Les plantes à sécher peuvent être disposées dans des bacs perforés en couche épaisse. La capacité de l'enceinte est généralement mesurée en termes de masse de produit qu'on peut y mettre par cycle de séchage. Le stockage de l'énergie solaire est généralement réalisé dans une réserve d'eau ou de roche à grande inertie thermique. Un système de régulation automatique permettra de contrôler le fonctionnement du ventilateur (débit d'air) et d'assurer les fonctions de sécurité.

### 3.3.3.2. Séchoirs industriels solaires pour PAM

Quelques modèles de séchoirs solaires sont proposés pour des plantes aromatiques.

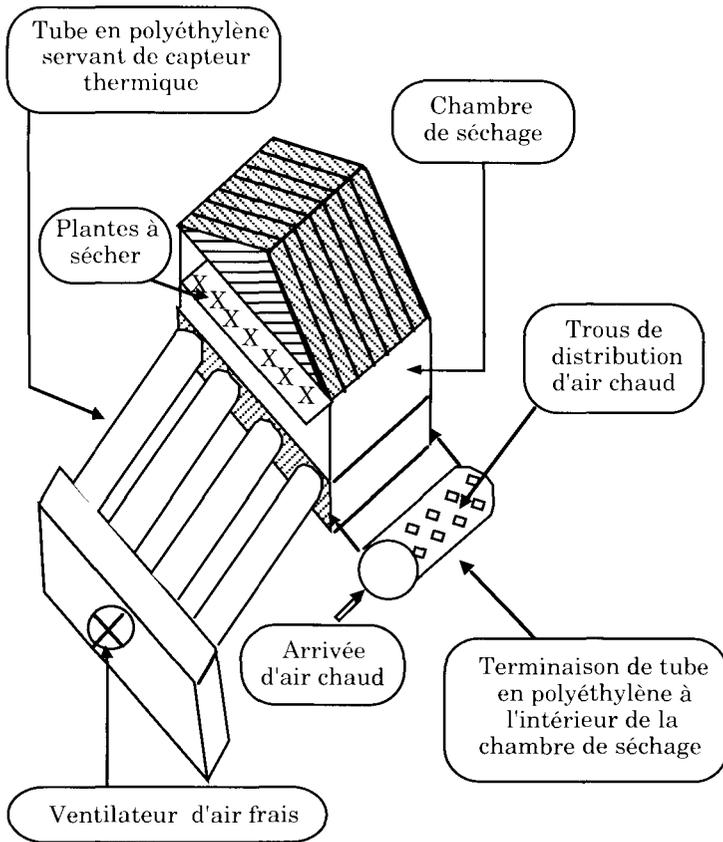
#### 3.3.3.2.1. *Séchoir utilisant des capteurs tubulaires*

Le capteur solaire est en tubes de polyéthylène terminés par de multiples perforations. Celles-ci permettent l'échappement d'air chaud devant rentrer en contact avec le produit à sécher dans la chambre de séchage (Figure 18).

La température maximale de l'air chaud peut atteindre 45°C environ. C'est une technique utilisée pour le séchage des herbes et feuilles d'épices (Steinfeld & Segal, 1984).

#### 3.3.3.2.2. *Séchoir utilisant la structure d'une serre comme capteur*

Un séchoir solaire incorporé dans une structure de serre a été réalisé par l'Institut de recherche alimentaire, à Usweon en Corée. Il a une section verticale semi-circulaire de 2m de rayon et une longueur de 4,25 m (Figure 19).



**Figure 18. Séchoir solaire utilisant des capteurs tubulaires (Camara, 1993)**

Il est constitué de deux enveloppes (interne et externe) en feuilles de plastique attachées à une charpente de poteaux en bois. L'enveloppe interne, jouant le rôle d'absorbeur, est noire. Celle externe est transparente. L'espace annulaire, épaisseur de la lame d'air entre les deux enveloppes, est de 10 cm. Sur le côté sud du séchoir, trois ouvertures de 200 mm de diamètre sont créées sur l'enveloppe externe. Ces ouvertures servent de portes d'entrée d'air forcé pour un ventilateur centrifuge. Deux ensembles de trois claies chacun, construites en bambous sont disposés le long du séchoir. Les claies sont placées à des hauteurs de: 0,4 m; 0,8 m et 1,2 m. Les produits à sécher sont étalés sur ces étages (Camara, 1993).

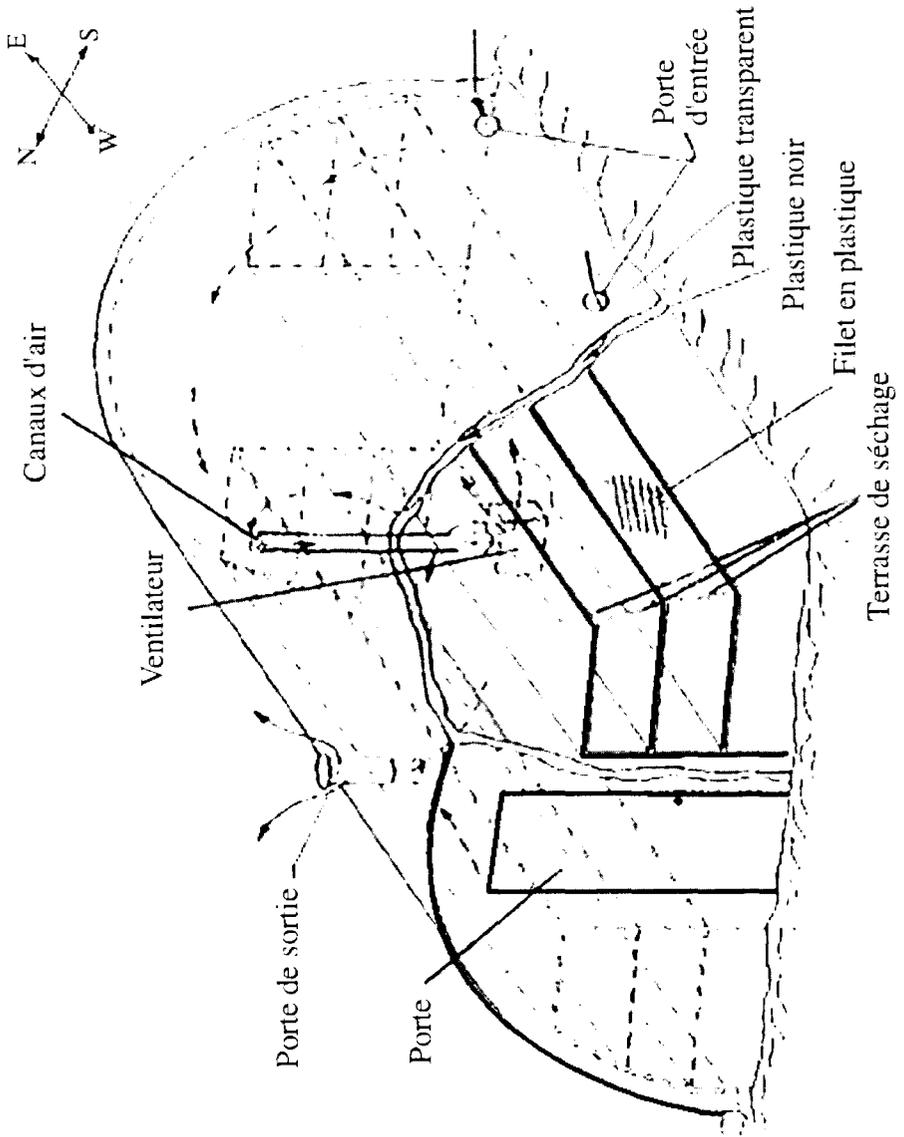


Figure 19. Séchoir en tente semi-circulaire (Camara, 1993)

### 3.3.3.2.3. *Séchoir solaire, type serre, de l'Université de Hohenheim Stuttgart- Allemagne*

Ce séchoir incorporé dans une structure de serre, à film plastique, a été développé à l'Université de Hohenheim (Stuttgart en Allemagne). Cette serre a des parois de côté, verticales. Pour obtenir une conception modulaire, le système est structuré tout au long de l'arête en petites unités de capteur solaire à air, incorporé au toit. Chaque unité est large de 2m et a une surface de 34 m<sup>2</sup>. Elle est opérée par un ventilateur qui fonctionne de façon indépendante pour une enceinte de séchage donnée (Figure 20).

L'unité de séchage consiste en un tissu absorbant noir placé entre la couverture transparente de la serre et une feuille d'isolant en polyéthylène. Un prototype a été installé pour le séchage de la menthe, de la sauge et du houblon. La charge d'une enceinte de séchage de ce prototype est de 250-500 kg de matière fraîche par unité de capteur. Les températures maximales atteintes ont été de 40 à 60°C dans les conditions expérimentales. La différence de pression totale a été de 50 Pa pour un débit d'écoulement de 3300 m<sup>3</sup> d'air/h par unité de capteur. En outre, tous les matériaux utilisés (polyéthylène, tissu absorbant, caisse de séchage, ventilateur,...) peuvent être déplacés facilement pour utiliser la serre dans sa forme originale en dehors de la saison de séchage. Le niveau d'investissement et le coût d'opération bas ainsi que la qualité de produits font de ce type de séchoir, d'après ses auteurs, l'un des mieux adaptés pour le séchage des plantes aromatiques (Camara, 1993).

### 3.3.3.2.4. *Séchoir solaire type CDER*

Le séchoir solaire type CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables) a été conçu par Markus et Ankila (1995) pour le séchage des plantes aromatiques et médicinales. Il a été installé et testé pour la première fois en 1993 à Sâada dans la région de Marrakech.

L'unité de séchage est placée dans un abri avec toit (Figure 21). L'air chauffé pénètre dans la chambre d'expansion de l'abri à travers un canal de liaison placé en amont et entièrement amovible. L'abri a 7 m de long, 3,4 m de large et 5 m de haut.

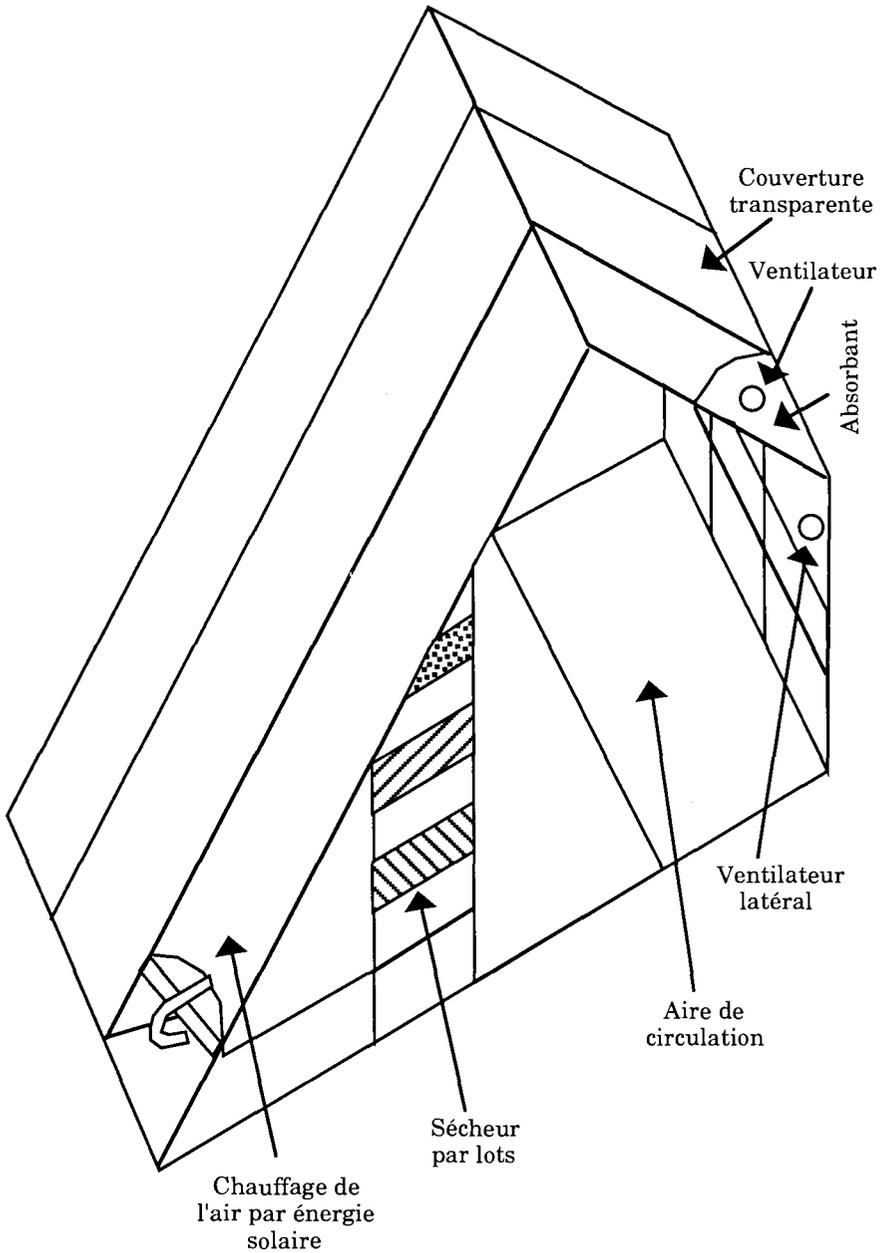
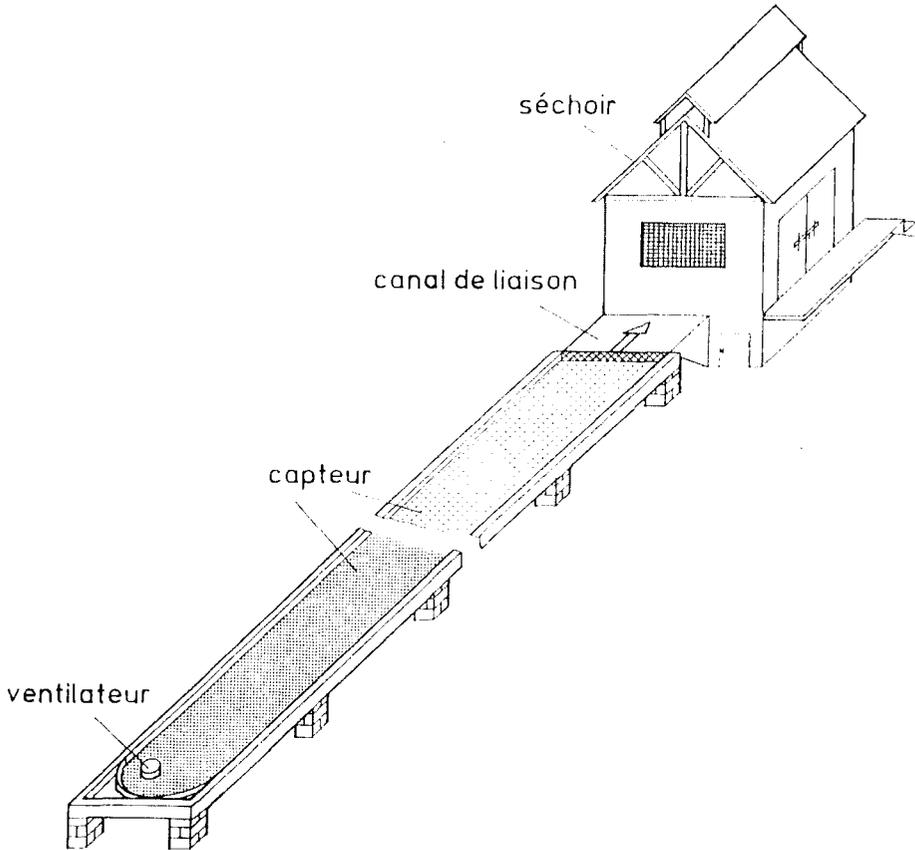


Figure 20. Séchoir solaire type serre (Université Hohenheim-Stuttgart-Allemagne) (Camara, 1993)



**Figure 21. Séchoir solaire type CDER (Markus & Ankila, 1995)**

L'air traverse de bas en haut les plantes aromatiques et médicinales étalées sur une grille. À cause de leur surface rugueuse, les herbes sont plus difficiles à sécher que les fruits. Elles demandent une plus grande quantité d'air les entourant que les fruits et légumes, qu'on expose simplement au courant d'air chaud. C'est pour cela que l'installation conçue pour le séchage des plantes doit, d'après les auteurs, être dotée de ventilateurs puissants. Dans le cas d'une unité alimentée par le réseau électrique, un ventilateur radial suffisamment puissant alimenté par énergie électrique du réseau peut suffire. Dans le cas contraire (absence de réseau électrique), il faut prévoir un ensemble de quatre panneaux photovoltaïques et de 3 ventilateurs axiaux montés en parallèle.

Les ventilateurs sont équipés de buses d'insufflement d'air et de tôles de guidage de l'air afin d'assurer la répartition homogène de l'air à l'intérieur du capteur. L'air est aspiré par le bas et pénètre dans le capteur en passant entre l'absorbeur et le plastique. Il atteint le compartiment de séchage à travers le canal de liaison. La température dépend du débit de l'air et de la surface du capteur. Le volume d'air transporté varie entre 0 et 3.850 m<sup>3</sup>/h. Le tableau 12 résume les caractéristiques techniques du système d'entraînement par réseau (Markus & Ankila, 1995).

Le canal de liaison est confectionné en contreplaqué revêtu de styropore. Il est fixé à l'abri par des cornières. L'accès au capteur est facile: il suffit de dégager les parties latérales et le fond du canal par des manipulations simples. Une feuille en plastique couvre le canal ouvert. Elle est fixée par des profilés de serrage métalliques.

**Tableau 12. Caractéristiques techniques du système d'entraînement par réseau (Markus & Ankila, 1995)**

Caractéristiques	Alimentation par réseau
Composantes	
• Marque	Ventilateur radial
• Type	Ziehl-Abegg
Tension nominale	220 V
Courant nominal	2,4 A
Puissance nominale	520 W
Volume d'air transporté	4100 m <sup>3</sup>
Vitesse nominale	1365 tours/min

L'extérieur du compartiment du séchoir est maçonné en briques. La charpente est construite à l'aide de poutres en bois. Le toit est en contreplaqué revêtu de carton goudronné. Le sommet est doté d'un capot de ventilation d'une hauteur de 30 cm. D'autres événements, chacun d'une dimension de 80 x 56 cm, se trouvent sur les deux côtés latéraux et un à l'arrière. Tous les événements sont couverts d'un fin grillage pour empêcher la pénétration d'insectes. Une porte à deux battants permet le chargement direct du compartiment séchoir à partir de la rampe de chargement alimenté par un véhicule de transport. L'air chaud provenant du capteur entre dans la chambre d'expansion, qui est isolée thermiquement, se dilate, traverse verticalement le produit à sécher disposé sur un grillage en bois, entraîne avec lui une partie

de l'eau contenue dans le produit et s'échappe par les événements et le capot de ventilation. Une plaque en bois coulissante peut être facilement adaptée à hauteur du produit déchargé jusqu'à concurrence de 1,5 m.

Au cours du processus de séchage, le produit entassé peut être retourné à partir de la rampe à l'aide d'une fourche. Afin d'empêcher le produit de salir la chambre d'expansion, le grillage en bois est recouvert d'un tissu en polyester très fin. Le grillage en bois est de 6 m de long et de 2 m de large. La surface du compartiment séchoir est de 12 m<sup>2</sup>.

Le tableau 13 donne la liste complète des matériaux nécessaires pour construire l'abri du séchoir.

Plusieurs plantes ont été testées sur ce séchoir par Markus & Ankila (1995). Les résultats obtenus dans le cas de la menthe fraîchement coupée, par exemple, donnent des indications sur son efficacité technique.

Ce séchoir peut être chargé jusqu'à 50 kg de menthe fraîche par m<sup>2</sup>. Dans ce cas, la hauteur du produit mis à sécher est d'environ 80 cm. Le dépassement de cette hauteur gêne l'opération de retournement du végétal au moins deux fois par jour: matin et soir. En respectant ces exigences, la capacité de charge maximale du séchoir est de 600 kg de menthe fraîche.

Pour cette plante, il est recommandé une température maximale, pour l'air de séchage, de 50°C (Markus & Ankila, 1995). Dans la région où ces essais ont été réalisés (région de Marrakech), cette température risque d'être dépassée en période estivale, surtout aux mois de juillet et août.

Dans ce cas, les auteurs proposent une solution simple pour résoudre le problème. Il s'agit simplement de couvrir, partiellement le capteur solaire à l'aide d'une bâche par exemple. En dehors de la période estivale, cette précaution n'est pas nécessaire. Probablement, dans les zones où l'intensité d'ensoleillement est moins importante que dans la région de Marrakech, cette précaution ne sera jamais nécessaire.

**Tableau 13. Liste des éléments nécessaires pour la construction du séchoir solaire type CDER pour le séchage des plantes médicinales et aromatiques**

D'après Markus &amp; Ankila (1995)

Désignation	Dimensions	Quantité nécessaire
Sable		4m <sup>3</sup>
Gravier	8/15	4m <sup>3</sup>
Ciment	250/315	80 sacs
Briques	40*15*10cm	350
Hourdis	40*15*15cm	550
Barres en acier de construction	10mm*12m	07
	8mm*12m	24
	6mm*12m	06
Grillage en fil de fer	Type moustiquaire	4m <sup>2</sup>
Acier plat	50*5*6cm	4
Plaques en styropore	100*50*2cm	70
Plaques en bois	7*20*600cm	8
	7*20*480cm	2
	7*20*420cm	9
	7*20*200cm	1
	200*122*1cm	2
Plaques en contreplaqué	250*122*1cm	12
		40m <sup>2</sup>
Carton goudronné		
Petit matériel	(clous, vis, fil en fer, colle à bois, tiges filetées, charnière,...)	
Alimentation photovoltaïque	Ventilateur	3
	Module solaire Solarex MSX 83	4
Alimentation par réseau	Ventilateur Ziehl-Abegg	
	RH 40 M	1
	Transformateur toroïdal	1
	Régulateur de température	1

La teneur en eau de la menthe fraîchement coupée est de 82% en moyenne. En utilisant la charge maximale du séchoir (50 kg/m<sup>2</sup>) et en respectant l'exigence de la température limite autorisée (50°C maximale), la durée de séchage est de quatre jours au maximum. Cette durée diminue lorsqu'on diminue la charge du séchoir. La réduction de la charge au tiers de la capacité maximale (200 kg au lieu de 600 kg) réduit la durée de séchage dans le même rapport (la durée est divisée par 3) (Tableau 14).

Toutefois, Markus & Ankila (1995) n'en tirent pas une loi facilement généralisable. Il est, par ailleurs, sûr que la durée de séchage diminue avec l'état de la matière première à l'entrée du séchoir (matière première plus ou moins fanée par exemple).

**Tableau 14. Grandeurs caractéristiques pour le séchage de la menthe dans le séchoir solaire alimenté par réseau**  
D'après Markus & Ankila (1995)

Paramètre	Unité	Grandeur
Surface du séchoir	m <sup>2</sup>	12
Quantité chargée	kg	200
Durée du séchage	h	33
Quantité d'eau extraite	kg	160
Débit d'air	m <sup>3</sup> /h	3 800
Masse du produit fini à 10% d'eau	Kg	40
Besoin en énergie électrique	KWh	17,2

#### 4. QUALITÉ DES PAM SÉCHÉES

L'expression de la qualité d'une plante est fonction de son utilisation:

- La saveur et la neutralité pour l'aromaticien.
- L'odeur pour le parfumeur.
- La ou les substances actives pour le chimiste et/ou pharmacien,
- La non utilisation de pesticides et d'engrais chimiques de synthèse, l'absence de résidus, pour le client qui cherche les produits biologiques.
- Le critère visuel est souvent prépondérant pour le négociant.

Cette qualité dépend de nombreux facteurs allant du lieu de culture aux traitements post-récolte. Pour garantir cette qualité, certaines pratiques importantes sont à observer depuis la production jusqu'à la consommation. On peut citer notamment:

- La réduction de la durée qui sépare la cueillette de l'opération du séchage (surtout pour les plantes très humides).
- Une conduite optimale de l'opération de séchage.
- Le stockage des plantes dans un local propre à l'abri de la poussière, de l'humidité, de la lumière et d'autres contaminants éventuels.

Le tableau 15 résume les critères de qualité généralement retenus pour différentes présentations de produits aromatiques. Les solutions recommandées pour corriger l'apparition des défauts au niveau de chaque critère sont également données.

Les critères de qualité des plantes aromatiques et médicinales commercialisées sous forme de plantes (ou parties de plantes) séchées peuvent être classées en quatre catégories à savoir les aspects et caractéristiques physiques, les spécifications chimiques, la qualité microbiologique et les résidus de contaminants.

#### **4.1. Aspects et caractéristiques physiques**

Deux critères sont particulièrement importants et sont communs pour tous les produits.

##### **4.1.1. Couleur**

La couleur joue un rôle important dans l'évaluation de la qualité d'une plante séchée pour certaines utilisations. En effet, la couleur est souvent liée à l'état de maturité de la plante à la récolte et à la présence d'impuretés (poussières par exemple). La couleur du produit est également un bon indicateur de la qualité des traitements technologiques subies par la plante ainsi que des conditions d'entreposage (la détérioration par les micro-organismes, par exemple, peut être visible sur la couleur), etc.

La couleur constitue donc un critère qui détermine la qualité commerciale du produit, surtout si celui-ci est présenté comme une tisane en sachets ou comme phyto-médicament sous forme de plante entière. La couleur peut également être importante pour certains aromates alimentaires. Ceci est particulièrement vrai pour certains plats cuisinés comme les pizzas italiennes. Les feuilles vertes de romarin, d'origan,..., rappellent aux consommateurs les pizzas traditionnelles préparées avec des plantes fraîches.

Dans d'autres cas, la couleur de la matière première n'a pas tellement d'importance: plantes utilisées dans la fabrication des infusettes, des gélules ou destinées à la préparation d'extraits divers ou de principes actifs (huiles essentielles, extraits pour cosmétiques, principes actifs pour pharmacie,...) (Tableau 15).

**Tableau 15. Critères de qualité des plantes aromatiques et solutions pour correction des défauts (Camara, 1993)**

Utilisations	Tisanerie		Aromate		Extraction des principes actifs			Plantes entières	Solutions pour correction des défauts
	S*	I*	G*	BV*	HE*	Méd*	Cos*		
Présentation des produits									
Critères de qualité									
Tenue (1)	+++	0	0	0	0	0	0	+	Nature du mondage
Propreté (2)	+++	+++	+++	+++	0	0	0	+++	Contrôle de la qualité et des traitements technologiques: lavage, tamisage, conditionnement
Couleur	+++	0	0	+	0	0	0	+++	Contrôle de séchage
Falsification (3)	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+++	Techniques de récolte, mondage
Odeur	+++	+++	0	+++	0	0	0	0	Variétés, dates de désherbage et de récolte, séchage
Teneur en principes actifs	+	+	+	+	+++	+++	+++	+++	Variétés, séchage
Composition des principes actifs	+	+	+	0	+++	+++	++	+++	Variétés
Qualité									
Bactériologique	+++	+++	+++	+++	0	0	0	+++	Techniques de récolte, lavage, séchage, stockage
Résidus (pesticides, métaux lourds..)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	Lieu de production, techniques culturelles
Emballage	+++	++	+	+++	+	0	+	+	Compétence en matière de marketing

\* S: Sachets; I: Infusettes; G: Gélules; BV: Bouteille en verre; HE: Huile essentielle; Méd: Médicaments; Cos: Cosmétiques; PhyM: Phyto-médicaments

(1): Tenue: Feuilles entières, absence de tiges, calibre, taux de brisure

(2): Propreté: taches de moisissures, matières étrangères: cailloux, coquilles d'escargot, crottes de rongeurs

(3): Falsification: Plantes étrangères, racines dans les tiges

Classement de: 0= aucune importance à +++ = très important

Divers facteurs conditionnent la couleur de ces produits. Parmi eux, le séchage joue un rôle essentiel. La couleur verte d'un produit est le résultat de la présence de pigments naturels: chlorophylles et caroténoïdes, tous deux pigments liposolubles et verts pour les premiers et jaunes / oranges pour les seconds. Ils sont sensibles aux conditions de séchage. À côté de ces pigments naturels, on trouve les composés issus du brunissement enzymatique et non enzymatique. Le brunissement enzymatique consiste en la transformation, par le biais d'enzymes, des composés phénoliques en polymères colorés bruns ou noirs. Le brunissement non enzymatique ou réaction de Maillard est un ensemble très complexe de réactions. Il engendre notamment la formation de pigments bruns ou noirs et de composants odorants indésirables ou non. La sensibilité des pigments à la chaleur et les réactions de brunissement requièrent la prudence.

Des différences de comportement sont également observées selon les espèces. Ainsi, une étude portant sur l'influence des conditions de séchage sur la couleur de la menthe (*Mentha spicata*) et du basilic (*Ocimum basilicum*) a fait ressortir les tendances suivantes (Iteipmai, 1995):

- Une forte vitesse de séchage se traduit par un effet protecteur de la couleur verte dans le cas de la menthe alors que l'inverse est observé pour le basilic.
- Une forte humidité de l'air de séchage détériore la couleur dans les deux cas.
- Un séchage à basse température, suivi d'un séchage à plus forte température, ne permet pas de bloquer les réactions de dégradation des pigments.

Pour l'ensemble des plantes, les trois principaux critères à prendre en compte sont:

- La température de séchage.
- La vitesse de séchage.
- L'humidité de l'air.

L'altération des pigments est particulièrement intense dans le cas du séchage naturel. Par contre, la déshydratation dans un séchoir industriel y compris le solaire permet, quand il est bien maîtrisé, de mieux préserver la couleur des plantes au départ.

### 4.1.2. *Matières étrangères*

On considère comme matière étrangère tout ce qui n'appartient pas à la plante traitée. Cette matière étrangère peut être d'origine animale (excrément, poils...), végétale (feuilles ou tiges d'autres plantes) ou minérale (poussière, sable, terre, etc.).

Le taux d'impuretés est un critère essentiel dans la définition de la qualité commerciale d'un produit à base de plantes aromatiques et médicinales séchées. Il est affecté par les différentes étapes depuis la culture jusqu'à l'emballage en passant par la récolte et les différents traitements technologiques.

Une récolte mal conduite peut porter préjudice à la qualité de la plante en augmentant son taux d'impuretés (tiges et brindilles) et d'autres matières étrangères (poussière, terre, etc.). Une matière première de mauvaise qualité est difficile à traiter et ne peut donner, par conséquent, qu'un produit de qualité moyenne ou mauvaise.

Le séchage peut également être une source d'impuretés. En effet, le séchage naturel des plantes aromatiques et médicinales sur des surfaces chargées de corps étrangers ne peut qu'augmenter le taux d'impuretés et, donc, diminuer la qualité commerciale des produits finis. L'exposition aux animaux (rongeurs, volaille, etc.), lors du séchage, affecte beaucoup la qualité commerciale du produit. Un séchage naturel en plein air expose le produit à des charges excessives en poussière.

Après le séchage, les plantes sont soumises à divers traitements tels que le broyage, le dépoussiérage, le tamisage, etc. Ces opérations, quand elles ne sont pas conduites convenablement et moyennant des appareils efficaces, peuvent donner un produit de qualité médiocre.

Le conditionnement et le stockage peuvent être une source de poussière et d'autres matières étrangères.

À titre d'exemple, les spécifications pour le romarin sont comme suit d'après les normes AFNOR (1988):

- Le pourcentage total des matières étrangères dans le romarin séché ne doit pas être supérieur à 1% (w/w).

- La proportion de tiges brisées dans le romarin séché ne doit pas dépasser 3% (w/w).
- La proportion de feuilles brunes dans le romarin séché doit rester inférieur à 10% (w/w).

Le tableau 16 donne certains critères de qualité fixés par la norme AFNOR pour la verveine (AFNOR, 1988).

**Tableau 16. Tolérances, aspect et caractères physiques pour la verveine (AFNOR, 1988)**

	Tolérance 1 <sup>er</sup> choix	Tolérance 2 <sup>ème</sup> choix
Feuilles jaunes, décolorées piquées	5% max.	8% max.
Tiges	6% max.	10% max.
Corps étrangers d'origine animale	Absence	Absence
Corps étrangers d'origine végétale	Absence	Absence

D'autres critères, reliés à la même catégorie, sont également importants au moins pour certains produits. En effet, la régularité de la coupe (pour les produits coupés) et la tenue du produit (les feuilles de verveine, en se cassant facilement, libèrent de la poussière) affectent la qualité.

## 4.2. Spécifications chimiques

Dans l'appréciation de la qualité des plantes aromatiques et médicinales séchées, on trouve également des spécifications chimiques dont la teneur en eau, les cendres totales, les cendres insolubles dans HCl et la teneur en huiles essentielles.

La teneur en eau reflète la bonne ou la mauvaise conduite de l'opération de séchage. Elle dépend également du stockage et du conditionnement du produit après le séchage. En effet, la plante peut reprendre de l'humidité au cours de l'entreposage. Pour minimiser ces risques, on doit agir sur le conditionnement, ainsi que sur les conditions d'entreposage. En particulier, l'entreposage en vrac doit être limité au maximum. L'emballage doit être autant que possible étanche à l'eau et au transfert d'humidité. Par ailleurs, la durée de conservation (période séparant l'opération de séchage de la commercialisation) doit être la plus courte possible.

La teneur en cendres renseigne sur la propreté de la plante et particulièrement sa charge en poussière.

La teneur en huile essentielle dans le cas des plantes à huiles essentielles dépend de plusieurs facteurs à savoir:

- Espèces et variétés concernées, période et lieu de récolte (voir Chapitre 8),
- Mode de séchage. Lors du séchage d'une plante aromatique, celle-ci perd une partie de son huile essentielle, donc son arôme, par volatilisation et par entraînement avec la vapeur d'eau éliminée. Ces pertes sont d'autant plus importantes que la durée de séchage est longue. La température de séchage influence de façon très importante les pertes en huiles essentielles (Figure 22).

Pour la plupart des plantes, des pertes sont enregistrées avec une température de séchage dépassant 45°C. Cependant, pour le persil et d'autres ombellifères, les meilleurs résultats sont observés avec une température de séchage supérieure à 80°C (Iteipmai, 1995). Le type d'organe sécréteur joue un rôle important sur le plan des pertes en huile essentielle. Pour les plantes aromatiques ayant des appareils sécréteurs externes très fragiles et sujets à diverses dégradations, les pertes en huiles essentielles sont très importantes. C'est le cas des plantes aromatiques de la famille des labiées et composées (menthe, sauge, bardane, etc.).

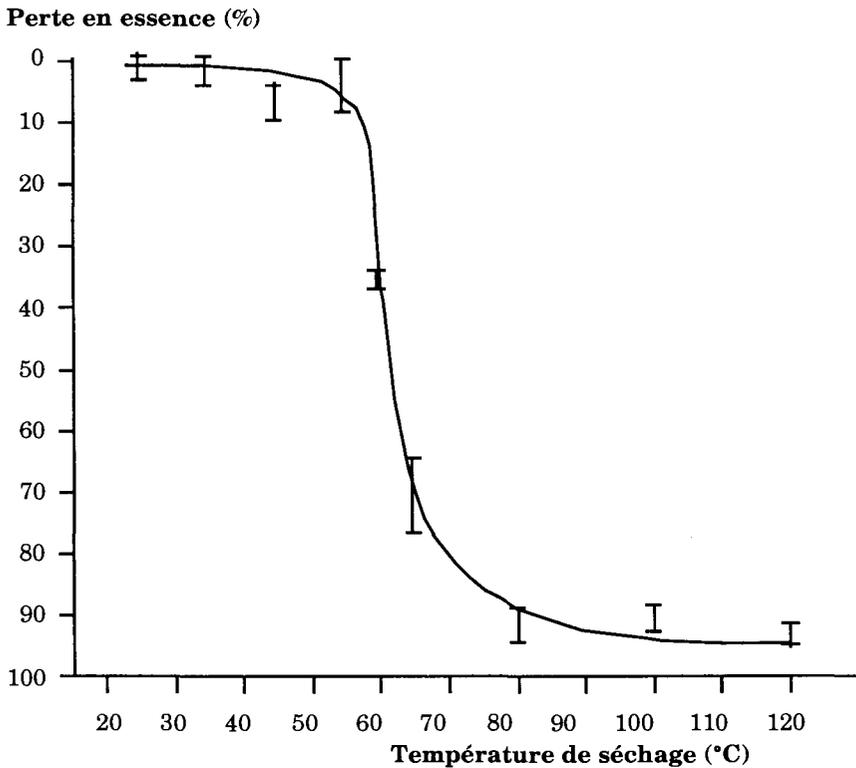
Par contre, les ombellifères, grande famille des plantes aromatiques (persil, anis, fenouil, livèche, angélique, aneth, coriandre...), présentent la particularité de sécréter et stocker l'huile essentielle dans des canaux sous l'épiderme. Les risques de perte potentielle d'huile essentielle sont ainsi nettement atténués.

Outre la perte d'huile essentielle, le séchage peut entraîner des modifications dans la composition de l'huile essentielle, modifiant ainsi le profil aromatique de la plante (Iteipmai, 1995).

- Conditionnement et durée de stockage. Un matériel de conditionnement, perméable à l'air et aux substances volatiles du produit conditionné, facilite la perte d'huile essentielle après le séchage. L'entreposage dans des espaces aérés ne fait qu'aggraver les pertes.

Le tableau 17 résume les normes de la pharmacopée française concernant la teneur en eau et en huile essentielle de quelques plantes médicinales.

Le tableau 18 résume les spécifications chimiques pour le romarin et la verveine.



**Figure 22. Influence de la température de séchage sur les pertes en huiles essentielles de quelques plantes aromatiques**  
D'après Iteipmai (1995)

### 4.3. Qualité bactériologique

La qualité bactériologique d'une plante séchée est évaluée par le dénombrement de certains micro-organismes et notamment les aérobies mésophiles, les levures, les moisissures, *Escherichia coli* et les salmonelles.

Plusieurs facteurs peuvent affecter la qualité bactériologique des produits séchés: modalité de séchage (type et température de séchage...), conditionnement (matériel d'emballage), conditions de stockage (propreté des lieux, humidité).

À titre d'exemple, le tableau 19 donne les caractéristiques bactériologiques de la verveine telles qu'elles sont fixées par les normes AFNOR (1988).

**Tableau 17. Normes de la pharmacopée française concernant la teneur en eau et en huiles essentielles (HE) de quelques plantes médicinales**  
D'après Iteipmai (1995)

Plantes à huiles essentielles		Partie considérée	Teneur en eau (%)	Teneur en HE en % matière fraîche	
Nom commun	Nom botanique			minimale	maximale
absinthe	<i>Artemisia absinthium</i>	feuilles + sommités fleuries	12	0,3	1,3
Armoise	<i>Artemisia vulgaris</i>	feuilles + sommités fleuries	10	0,1	-
Achillée	<i>Achillea millefolium</i>	sommités fleuries	11	0,3	-
Calament	<i>Calamintha officinalis</i>	sommités fleuries	10	0,6	-
Coriandre	<i>Coriandrum sativum</i>	fruits	10	0,3	-
Camomille	<i>Anthemis nobilis</i>	capitules	10	0,7	-
Angélique	<i>Archangelica officinalis</i>	racines	12	0,4	-
Hysope	<i>Hysopus officinalis</i>	feuilles + sommités fleuries	12	0,3	1,5
Mélisse	<i>Melissa officinalis</i>	feuilles	12	0,05	-
Genévrier	<i>Juniperus communis</i>	fruits	15	0,75	-
Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>	sommités fleuries	10	1,5	-
Sauge	<i>Salvia officinalis</i>	feuilles	10	2	3
Thym	<i>Thymus vulgaris</i>	feuilles + fleurs	10	1,2	-
Matricaire	<i>Matricaria chamomilla</i>	capitules	-	0,4	-
Menthe poivrée	<i>Mentha piperita</i>	feuilles	11	1,2	-
Verveine	<i>Lippia citriodora</i>	feuilles	10	0,4	-

**Tableau 18. Spécifications chimiques pour le romarin et la verveine**  
D'après AFNOR (1988) & ISO (1980)

	Romarin	Verveine
Teneur en eau	11 % max. (NF V03-402)	14 % max. (ISO 939-1980)
Cendres totales	7% (NF V03-403)	13% max (ISO 928-1980)
Cendres insolubles dans HCl	1% (NF V03-405)	3.5% max (ISO 930-1980)
Teneur en huiles essentielles	0,8% (NF V03-409)	0,15% (ISO 6571-1984)

**Tableau 19. Caractéristiques bactériologiques de la verveine**  
D'après AFNOR (1988)

Germes	Dénombrement maximal
Aérobies mésophiles	$10^8$ /g
Levures	$10^6$ /g
Moisissures	$10^6$ /g
<i>Escherichia Coli</i>	$10^4$ /g
Salmonelles	Absence dans 25 g

#### 4.4. Résidus de contaminants chimiques

Il s'agit essentiellement de résidus des pesticides, des métaux lourds et d'éléments radioactifs. Les résidus de pesticides peuvent se rencontrer aussi bien dans les plantes spontanées que dans celles de culture. Par exemple, une plante spontanée (armoïse, thym, etc.) récoltée dans une région qui a subi un traitement antiacridien portera, pour longtemps peut-être, les traces des résidus des produits chimiques utilisés. Une autre plante, toujours spontanée, récoltée pas loin d'un champ de culture ou en aval de ce dernier peut comporter des résidus de produits phytosanitaires. Il ne faut pas croire que les plantes spontanées (sauvages) sont toujours indemnes quant à la présence de résidus de pesticides. Pour les plantes cultivées, quand on est obligés de les traiter (désherbage, lutte contre les maladies), il faut le faire avec beaucoup de soin et de précaution.

Le tableau 20 donne les doses maximales des pesticides autorisées, par certains pays, dans les plantes aromatiques et médicinales, en général. Le tableau 21 donne, pour la cas particulier de la verveine, les normes AFNOR relatives aux mêmes critères: résidus de pesticides, métaux lourds et radioactivité.

**Tableau 20. Résidus de pesticides dans les plantes aromatiques et médicinales**

Types de pesticides	Pays	Résidus (mg/kg)*
Acide cyanhydrique	Belgique et Pays-Bas	15,00
Aldrine ( et dieldrine)	Italie	0,10
Chlordane	Italie	0,05
Chloropyriphos	Italie	0,50
DDT/DDD/DDE	Italie	1,00
Diuron (dans la menthe)	Italie	3,00
Fonjos (dans la menthe)	Italie	0,05
HCH (ALPHA)	Italie	0,60
Heptachlore	Belgique	0,10
Hexachlorobenzene (HCB)	Belgique et Italie	0,10
Lindane	Italie	0,05
Phosphure d'hydrogène	Pays-Bas	0,01
Prometryne (dans la menthe)	Italie	0,10
Pyrimiphos méthyle	Italie	0,50
Trifluoroline ( dans la menthe)	Italie	0,05

\* (Limites fixées par certains pays importateurs)

Source: Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations

**Tableau 21. Résidus de contaminants chimiques dans la verveine  
D'après les normes AFNOR (1988)**

Contaminants	Limite maximale (mg/kg)
<b>Pesticides</b>	
• Aldrin/Dieldrin	0,10
• Bromopropylate	5,00
• Chlordane	0,05
• DDT et métabolites	1,00
• Endosulfan	30,00
• Endrin	0,10
• Ethion	0,05
• Lindane	0,50
• Autres isomères, total	0,20
• Hexachlorobenzol (HCB)	0,10
• Heptachlore	0,10
• Piperonyl butoxide	3,00
• Acide dichloro phenotoxicacétique	0,10
• Simazine	0,10
• Rotenone	0,10
• Paraquat	0,10
• Phosphide	0,01
<b>Métaux lourds</b>	
• Plomb	3,0
• Cadmium	0,2
<b>Radioactivité</b>	600 Bq/kg

## 5. CONCLUSIONS

Dans ce chapitre consacré à l'analyse de la chaîne de fabrication des PAM séchées pour l'herboristerie et les aromates alimentaires, deux questions ont été particulièrement développées vu leur importance dans le segment du secteur. Il s'agit du séchage et de la qualité des PAM séchées.

Le séchage naturel, le plus simple, le moins coûteux et le moins exigeant techniquement, permet difficilement de garantir la qualité requise des produits finis.

Par contre, grâce à une maîtrise des facteurs qui le conditionnent (température, humidité de l'air, durée de séchage, etc.), le séchage industriel est plus efficace quant à la qualité des produits obtenus. Mais les installations sont de loin plus coûteuses et plus exigeantes en technicité.

Le séchage industriel, utilisant des capteurs d'énergie solaire, dont les développements sont relativement récents, paraît être une solution médiane entre les deux technologies précédentes. Il est, *a priori*, moins coûteux mais aussi efficace que le séchage industriel classique.

Cependant, cette technologie ne peut être envisagée que dans les régions recevant un bon rayonnement solaire et pour des unités dont les capacités de traitement sont relativement limitées.

Le segment de marché relatif aux PAM séchées est très exigeant quant à la qualité des produits (qualité organoleptique, visuelle, sanitaire, etc.). La réussite dans le domaine passe, d'abord, par la maîtrise de cette qualité et le respect des normes la concernant. Les normes exigées sont de surcroît internationales.



*Amula gracilens* Desf.



*Tetraclinis articulata* Vahl.



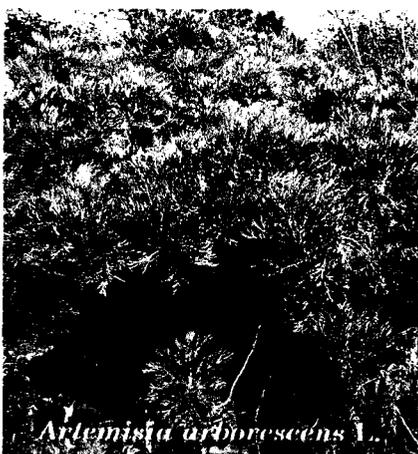
Menthe abdi  
*Mentha viridis* L.  
chemotype linalol



*Ormenis mixta* (L.) Dumt  
ssp. *multicaulis*



*Tanacetum annuum* L.



*Artemisia arborescens* L.

## **OBTENTION DES HUILES ESSENTIELLES ET AUTRES EXTRAITS AROMATIQUES**

### **1. INTRODUCTION**

Les ressources naturelles à intérêts aromatiques et/ou médicinaux peuvent être valorisées soit sous forme de produits végétaux frais, séchés ou congelés, soit sous forme d'extraits.

Les premiers sont commercialisés et consommés sous forme de plantes (ou parties de plantes) à l'état frais ou après séchage (Cf. § 5.2, Chapitre 2 et Chapitre 4). Le même marché offre aujourd'hui, surtout pour les aromates alimentaires, de la place pour des produits congelés à l'état frais.

Pour d'autres utilisations, les PAM sont d'abord soumises à des extractions. Ces dernières peuvent être réalisées par entraînement à la vapeur d'eau (HE), par solvants organiques ou selon d'autres modes d'extraction. Les extraits obtenus sont recherchés par de nombreuses industries (parfumerie, cosmétique, produits d'hygiène, additifs alimentaires, produits de santé, industrie pharmaceutique) (Cf. Chapitre 1 et § 5.1, Chapitre 2).

Ce chapitre sera consacré à la définition des différents extraits des PAM à intérêts économiques. Il précisera le mode d'obtention de chacun d'entre eux. Une place particulière sera réservée à la distillation des plantes aromatiques pour la production d'HE. On décrira ainsi le mécanisme d'entraînement des constituants «volatils» de la plante par la vapeur d'eau et on définira les différentes variantes du procédé utilisé.

### **2. PRINCIPAUX EXTRAITS DES PAM**

#### **2.1. Huiles essentielles**

Par définition, les huiles essentielles sont obtenues par entraînement à la vapeur d'eau. Cette dernière traverse une masse végétale et se

charge de constituants «volatils» de la plante. La vapeur d'eau chargée de ces constituants dits «volatils» est condensée dans un condenseur. Dans un essencier (ou vase florentin), le condensat se sépare par décantation en deux phases non miscibles: une phase aqueuse, appelée généralement «eaux blanches» et une phase organique. Cette dernière est, par définition, appelée «huile essentielle». Dans cette définition, on entend par «constituants volatils» des substances entraînaables par la vapeur d'eau dans les conditions opératoires (généralement de la vapeur humide à la pression atmosphérique ou légèrement au-dessus de cette dernière). Exceptionnellement, on admet également dans l'appellation «huile essentielle», les produits obtenus par des procédés mécaniques (expression essentiellement) à partir des fruits d'agrumes et séparés de la phase aqueuse résultante grâce à des procédés physiques.

## 2.2. Concrètes

Dans ce cas, le matériel végétal, les fleurs par exemple, est chargé dans un extracteur, spécialement destiné à cet effet, contenant un solvant hautement purifié.

Le solvant circulant à travers le matériel végétal permet d'extraire les constituants d'arôme ainsi que d'autres substances liposolubles. Le solvant est éliminé par évaporation. On obtient une concrète ou résinoïde. Les caractéristiques physico-chimiques de la concrète obtenue dépendent beaucoup du solvant utilisé. Ce dernier doit remplir certaines conditions:

- Il doit être aussi sélectif que possible. Il doit dissoudre rapidement tous les principes odoriférants du matériel végétal et en extraire le moins possible d'albumine et de pigments.
- Il doit avoir une température d'ébullition faible pour qu'il puisse être facilement éliminé par évaporation sans préjudice pour les constituants de l'arôme.
- Il doit avoir un point d'ébullition uniforme (après évaporation, il ne doit pas laisser dans le produit fini des résidus à haut point d'ébullition)
- Il ne doit pas être soluble dans l'eau.
- Il doit être chimiquement inerte, ne permettant aucune réaction avec les constituants de l'extrait aromatique.
- Le solvant ne doit pas être très coûteux et, si possible, être non inflammable.

- Il ne doit pas non plus interférer avec les utilisations envisagées. L'usage des fréons, par exemple, est à proscrire dans le cas d'utilisation de l'extrait dans l'alimentation. Il est en effet très difficile d'éliminer par la suite toute trace de ces molécules.
- Il doit répondre aux exigences de la législation en vigueur à l'échelle nationale et internationale.

En réalité, aucun solvant ne peut satisfaire à toutes ces conditions. Autrefois, le benzène était le solvant le plus couramment utilisé. Aujourd'hui ce solvant est interdit pour ce type d'extraction à cause de ses effets néfastes pour la santé humaine. Il est remplacé par l'hexane essentiellement. Toutefois, d'autres solvants sont aussi utilisables. Tout dépend de l'objectif recherché. On peut chercher à produire un extrait global ayant un arôme bien défini. Dans ces conditions, seuls les essais empiriques suivis de l'évaluation par un jury de dégustation peuvent aider à retenir le meilleur procédé (choix de solvant et procédé d'extraction). On peut être obligés de s'adapter aux exigences de la réglementation ou à celles du cahier de charge du client. Dans ce cas, le choix des solvants se rétrécit.

L'extraction conduit certainement à des produits représentant mieux le parfum naturel existant dans le matériel végétal, mais cette technique ne peut remplacer entièrement la distillation, surtout par entraînement à la vapeur directe ou vapodistillation. Celle-ci a l'avantage d'être moins coûteuse, plus simple et ne demande pas de main-d'œuvre très spécialisée. L'extraction par solvant est de loin plus exigeante en précautions de sécurité (les solvants sont inflammables) et en protection du personnel et de l'environnement. Pellerin (2000) donne une description détaillée des schémas de principe d'extraction par solvant ainsi que des appareillages et procédés couramment utilisés.

### **2.3. Absolues**

Les concrètes qu'on vient de décrire ci-dessus ne sont jamais utilisées en l'état. Elles comportent trop de produits sans parfums et sans intérêts aromatiques. Leurs couleurs (généralement vert- foncé à noires) ainsi que leurs solubilités et stabilités physiques dans les solutions hydro-alcooliques rendent leurs utilisations industrielles (parfumerie, savonnerie, cosmétique, industrie des arômes)

impossibles. Certains constituants de ces produits, en agissant comme pro-oxydants, peuvent jouer un rôle néfaste dans la stabilité chimique des substances aromatisantes. Pour ces diverses raisons, les concrètes sont fractionnées par solubilisation dans une solution hydro-alcoolique. En effet, les concrètes mises en solution dans un milieu alcoolique et à froid laissent précipiter les cires, les résines et diverses substances hydrophobes à poids moléculaires relativement élevés. Les substances odoriférantes et à intérêts aromatiques, étant solubles, restent dans le milieu. Après filtration et concentration du filtrat par évaporation sous vide, on élimine l'eau et l'éthanol et on obtient un extrait aromatique, utilisable par les industriels et les formulateurs, appelé «absolue».

#### 2.4. Extraits au CO<sub>2</sub> supercritique

Plusieurs auteurs (Ondarza & Sanchez, 1990; Pellerin, 1991) mettent le CO<sub>2</sub> supercritique au sommet de l'échelle des solvants utilisables actuellement pour l'extraction des arômes. L'utilisation du trichloro-1,1,2 et du trifluoro-1,2,2 éthane (Fréon 113) donne aussi de très bons résultats, mais les préoccupations environnementales font que ces solvants sont de plus en plus délaissés.

Les techniques d'extraction des plantes aromatiques par entraînement à la vapeur d'eau ou par extraction à l'aide d'un solvant organique, fournissent respectivement des huiles essentielles et des oléorésines ou concrètes. La plupart des solvants courants utilisés font l'objet d'une réglementation stricte dictée par des considérations de santé et de protection de l'environnement. Parmi ces exigences, on peut citer les teneurs résiduelles des solvants dans les produits finis qui doivent être inférieures au ppb. Une alternative réside dans l'utilisation des fluides supercritiques et en particulier le CO<sub>2</sub>.

L'état supercritique d'un fluide quelconque correspond à un état physique où la température et la pression, auxquelles est soumis le fluide, sont supérieures, respectivement, à une température et à une pression caractéristiques de ce dernier, dites: température critique ( $T_c$ ) et pression critique ( $P_c$ ). Pour le CO<sub>2</sub>, ces deux grandeurs sont respectivement  $T_c = 31^\circ\text{C}$  et  $P_c = 73$  bars. Sur un diagramme d'états physiques (Pression/Température), le point (31°C, 73 bars) est appelé «point critique». L'état supercritique dans le cas du CO<sub>2</sub> est donc l'ensemble des états au-dessus de ce point (Température >  $T_c$  et pression >  $P_c$ ).

La figure 23 représente les quatre états physiques du  $\text{CO}_2$ : solide, liquide, gazeux et supercritique. Pour une utilisation comme solvant d'extraction, il n'y a, *a priori*, pour un fluide quelconque, que trois états qui peuvent être intéressants. L'état solide est très peu utilisé à cette fin. Toutefois, des exemples pour ce type d'utilisation sont donnés ci-dessous (voir § 2.6). L'état gazeux est largement utilisé dans la distillation des plantes aromatiques (voir § 3). L'état liquide est utilisé dans les extractions aux solvants organiques (Cf. § 2.2 et 2.3).

L'état supercritique a, en principe, plusieurs avantages par comparaison à l'extraction par solvant liquide. La diffusivité (à travers la paroi des cellules végétales) est plus grande que celle du liquide correspondant. La viscosité du fluide à l'état supercritique est bien inférieure à celle de son liquide. Ces deux caractéristiques font du fluide supercritique un meilleur dissolvant que le liquide correspondant. Cependant, il n'est pas toujours possible de travailler avec des fluides à l'état supercritique. L'obtention des  $T_c$  et  $P_c$  est souvent prohibitive en pratique. Seul le  $\text{CO}_2$  est actuellement utilisé à cette fin. En effet, cette technique est utilisée, depuis au moins deux décennies, pour l'extraction des épices et aromates (Richard, 1985).

Dans l'extraction par le  $\text{CO}_2$  supercritique, le dioxyde de carbone refroidi et comprimé à une pression inférieure à la pression critique passe à l'état liquide (Figure 23). Il est ensuite comprimé puis chauffé à des pression et température choisies en fonction du type d'extrait désiré (« huile essentielle » ou « oléorésine »<sup>1</sup>). Les conditions précises de température et de pression ne peuvent être établies qu'empiriquement et au cas par cas. Le fluide traverse alors la cuve d'extraction où se trouve le matériel végétal. Le  $\text{CO}_2$  supercritique chargé en soluté est ensuite évacué vers une autre enceinte où il est détendu au-dessous de la pression critique avant d'entrer dans le séparateur et passer à l'état gazeux.

---

<sup>1</sup> Les appellations « oléorésines », « concrètes », « huiles essentielles », qu'on peut rencontrer dans certaines littératures scientifiques et techniques et surtout dans le langage des industriels, sont des appellations impropres pour désigner des extraits au  $\text{CO}_2$ . Les produits obtenus par extraction au  $\text{CO}_2$  supercritique sont fondamentalement différents des oléorésines et concrètes obtenues par extraction à l'aide d'un solvant organique, d'une part, et des huiles essentielles obtenues par entraînement à la vapeur d'eau, d'autre part.

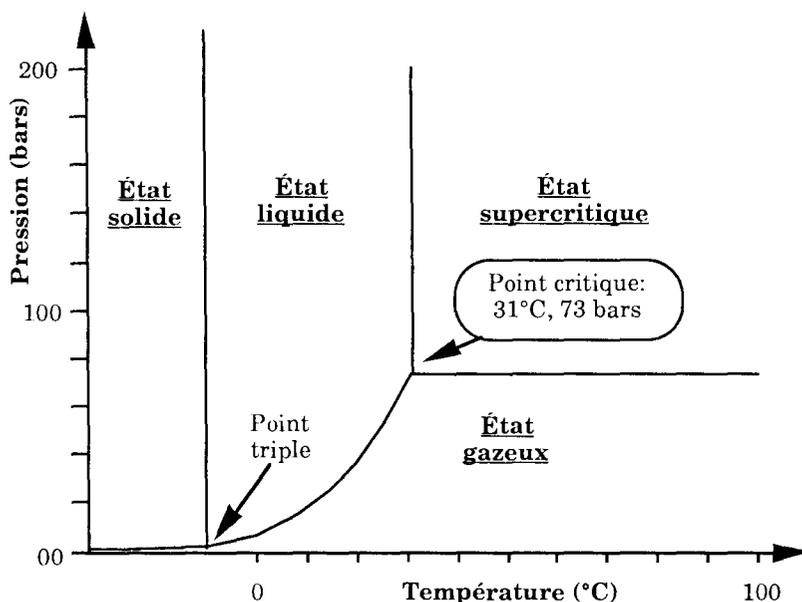


Figure 23. Diagramme des états physiques du dioxyde de carbone

À l'état gazeux, le  $\text{CO}_2$  perd ses propriétés de solvant et permet aux solutés de précipiter et d'être récupérés. Le gaz résultant ( $\text{CO}_2$ ) peut être alors recyclé ou éliminé. La figure 24 résume l'ensemble de ce procédé.

L'une des caractéristiques fondamentales de ce schéma d'extraction des arômes et autres extraits naturels réside dans l'étape de la séparation «solvant/extrait». Cette opération se fait à basse température sans besoin de chauffage. Par ailleurs, cette technique ne laisse aucun résidu de solvant dans l'extrait. Ce sont deux données particulièrement fortes qui militent en faveur de cette méthode pour la préparation d'extraits naturels à intérêts aromatiques, cosmétiques, médicinales ou autres. Le  $\text{CO}_2$  ne pose aucun problème particulier de sécurité vis-à-vis du personnel et de l'environnement, exceptées peut-être les implications de travail sous pressions relativement élevées (plus de 73 bars). Comme autre avantage de cette technologie, particulièrement intéressant, le  $\text{CO}_2$  est un dissolvant inerte chimiquement. Les températures de travail aussi bien au niveau de l'extracteur que dans le décanteur (séparateur) sont si basses qu'elles ne peuvent induire aucune transformation dans les constituants de l'extrait.

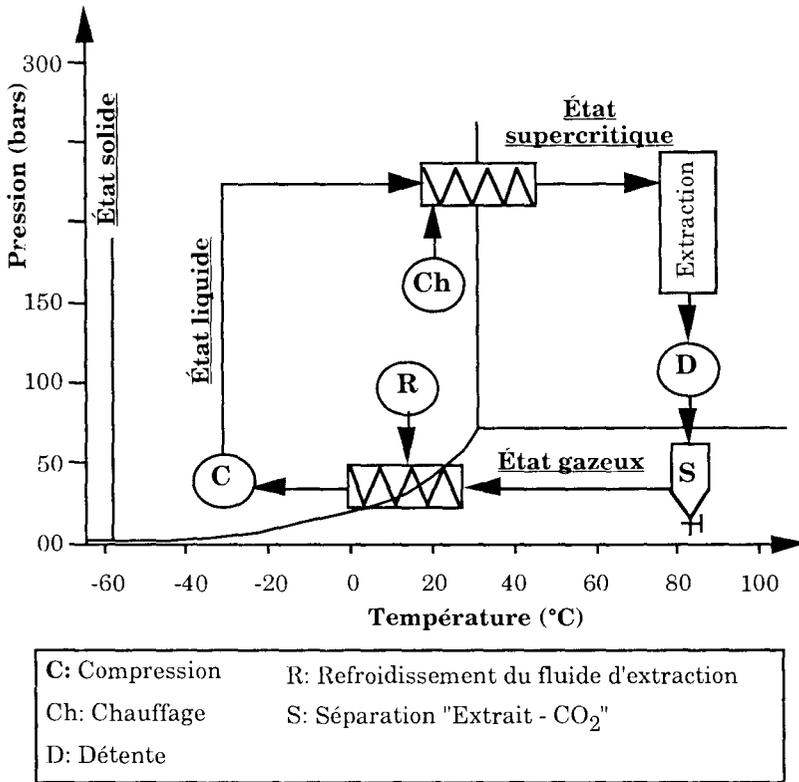


Figure 24. Schéma de principe d'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique

Ces deux données intéresseraient particulièrement ceux qui cherchent à avoir dans leurs extraits "le cœur de la nature" selon l'expression de Pellerin (2000).

Le pouvoir dissolvant de ce fluide dépend du couple «température: pression». En faisant varier ce couple, on peut produire des extraits à compositions très proches de celles des huiles essentielles correspondantes ou comparables à celles des concrètes et absolues obtenues à l'aide de solvants organiques. Entre ces deux limites, on peut produire toute une série d'extraits à caractéristiques intermédiaires. La polarité normale du CO<sub>2</sub> supercritique est voisine de celle du pentane ou de l'hexane. Cependant, grâce à des additifs appropriés (hexane, alcool, eau), on peut changer cette polarité. Ceci permet donc d'influer sur le pouvoir dissolvant de ce fluide ainsi que sur sa sélectivité. L'ensemble de ces données (conditions opératoires plus éventuellement des additifs appropriés) fait du CO<sub>2</sub>

supercritique un solvant d'extraction à très large spectre de pouvoir dissolvant et de sélectivité. Il pourrait, théoriquement, remplacer un grand nombre de solvants à la fois. Tout serait question des conditions opératoires et d'additifs utilisés.

Pourquoi, dans ces conditions, l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique n'a pas remplacé toutes les autres techniques? Plusieurs raisons peuvent expliquer la situation actuelle: chacune des trois grandes techniques (distillation à la vapeur d'eau, extraction au solvant organique et extraction au CO<sub>2</sub>) garde encore sa place dans l'industrie de préparation d'extraits naturels pour l'aromatique, la cosmétique, le phytosanitaire et bien d'autres industries similaires. Parmi ces raisons, le coût de l'équipement peut être un facteur limitant surtout lorsqu'il s'agit de produits à faibles valeurs ajoutées. La technologie au CO<sub>2</sub> supercritique exige des compétences techniques et scientifiques bien plus ardues qu'une simple distillation à la vapeur d'eau ou même une extraction aux solvants organiques. La qualité du produit obtenu par extraction au CO<sub>2</sub> supercritique est particulièrement dépendante des conditions opératoires bien plus que pour les deux autres techniques. Ces conditions ne sont fixées que de façon empirique, ce qui demande beaucoup d'expérimentations et donc de bonnes compétences scientifiques et techniques. En pratique, l'extraction au CO<sub>2</sub> est plus une diversification de la gamme des produits naturels mis à la disposition de l'aromaticien et du formulateur qu'un remplacement des huiles essentielles et extraits aux solvants. L'extraction au CO<sub>2</sub> donne, en réalité, de nouveaux produits pour lesquels le formulateur doit trouver les utilisations appropriées. Cela peut demander du temps, d'où le handicap majeur de cette technologie.

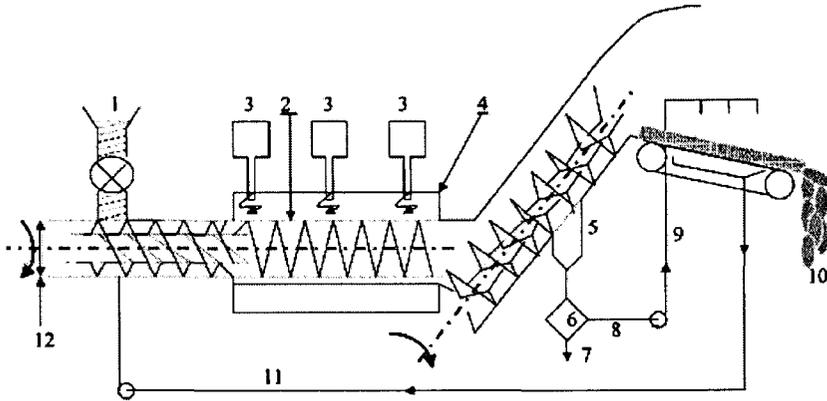
## **2.5. Extraits aux micro-ondes**

L'extraction assistée par micro-ondes est une nouvelle technique qui a été développée récemment pour extraire des produits naturels aromatisants en présence d'un solvant organique ou non.

### ***2.5.1. Extraction assistée par micro-ondes en présence d'un solvant***

Il s'agit d'assurer une extraction des substances aromatisantes dans un montage de distillation assistée par micro-ondes en présence d'un

solvant. Un procédé a été développé et breveté par le ministère de l'environnement du Canada à des fins analytiques et semi-préparatives. La figure 25 illustre les différents éléments d'un appareil pilote. À la fin de l'opération, on élimine le solvant et on récupère l'extrait aromatique qui a ses propres caractéristiques organoleptiques.



**Figure 25. Schéma de principe d'une unité industrielle d'extraction aux micro-ondes en continu en présence d'un solvant organique**

1: Trémie d'alimentation en matière première; 2: Cellule d'extraction; 3: Générateur de micro-ondes; 4: Enceinte d'extraction; 5: Solvant + extrait; 6: Évaporation; 7: Extrait; 8 & 9: Alimentation en solvant; 10: Tourteau épuisé; 11: Recyclage du solvant; 12: Diamètre de la cellule d'extraction

### **2.5.2. Extraction aux micro-ondes, sous vide et en absence de solvant organique**

On parle parfois, dans ce cas d'une «hydrodistillation assistée par micro-ondes sous vide». La technique consiste à soumettre un tissu biologique à un rayonnement micro-ondes, en l'absence de tout solvant aqueux ou organique tout en appliquant une pression réduite de façon séquentielle, dans l'enceinte d'extraction. On réalise donc, dans ces conditions physico-chimiques précises, un entraînement azéotropique des constituants volatils de la plante, par la seule vapeur issue du matériel végétal traité. Ces vapeurs sont condensées. Les substances odoriférantes ainsi entraînées sont séparées par décantation donnant lieu à un extrait aromatique de caractéristiques plus ou moins proches de l'huile essentielle correspondante.

La figure 26 illustre les différents éléments d'un montage proposé pour l'extraction, au niveau industriel, des substances aromatiques par micro-ondes sous vide.

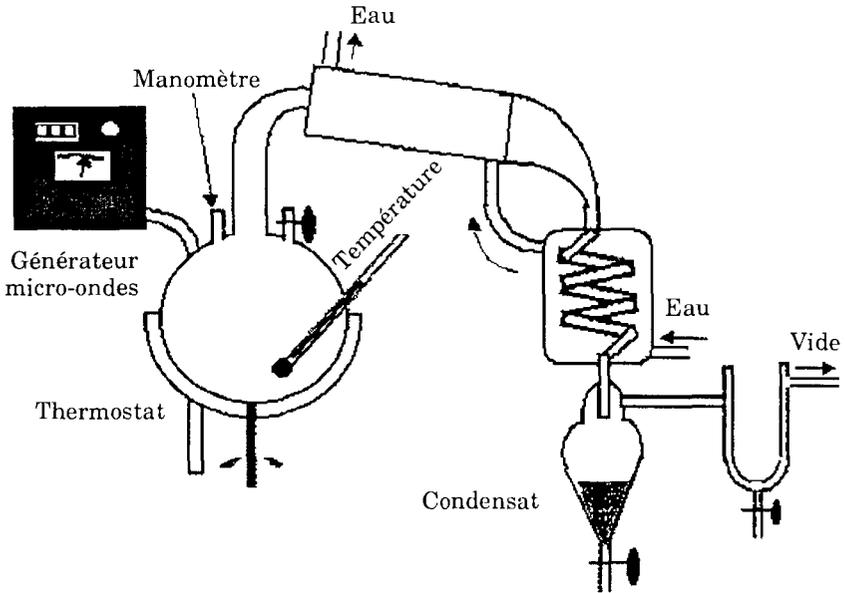


Figure 26. Installation pilote pour extraction sous-vide par micro-ondes

## 2.6. Autres extraits classiques à intérêts aromatiques

### 2.6.1. *Enfleurage ou extraction avec les graisses froides*

Cette méthode est généralement adoptée pour certaines fleurs telles que le jasmin et la tubéreuse, dont l'activité physiologique se poursuit après la récolte et continuent, donc, à émettre une certaine quantité de parfum (Guenther, 1965).

La méthode consiste à éparpiller les fleurs sur une surface spécialement préparée avec de la graisse, appelée corps. Ces graisses, grâce à leur pouvoir d'adsorption, fixent les constituants de parfum que le végétal libère dans le milieu ambiant: c'est l'enfleurage. La durée de l'opération est variable. Elle dépend de la nature du matériel végétal.

À titre d'exemple, elle est généralement d'une journée pour le jasmin. Avec le même lit de graisse, on fait plusieurs passages de charge florale jusqu'à «saturation» en constituants volatils. On obtient ainsi une pommade<sup>2</sup>. La récupération des produits volatils floraux à partir de la pommade se fait dans une série de batteuses (extracteur). Le principe de cette récupération consiste à traiter des charges successives de pommade par l'alcool (solvant) de manière à ce que les teneurs des constituants dans les diverses charges de pommade décroissent alors que celles du solvant augmentent corrélativement. On obtient alors un «extrait d'enfleurage»<sup>3</sup>. Ce dernier est ensuite refroidi jusqu'à -15°C puis filtré pour éliminer les graisses restantes dans le milieu alcoolique.

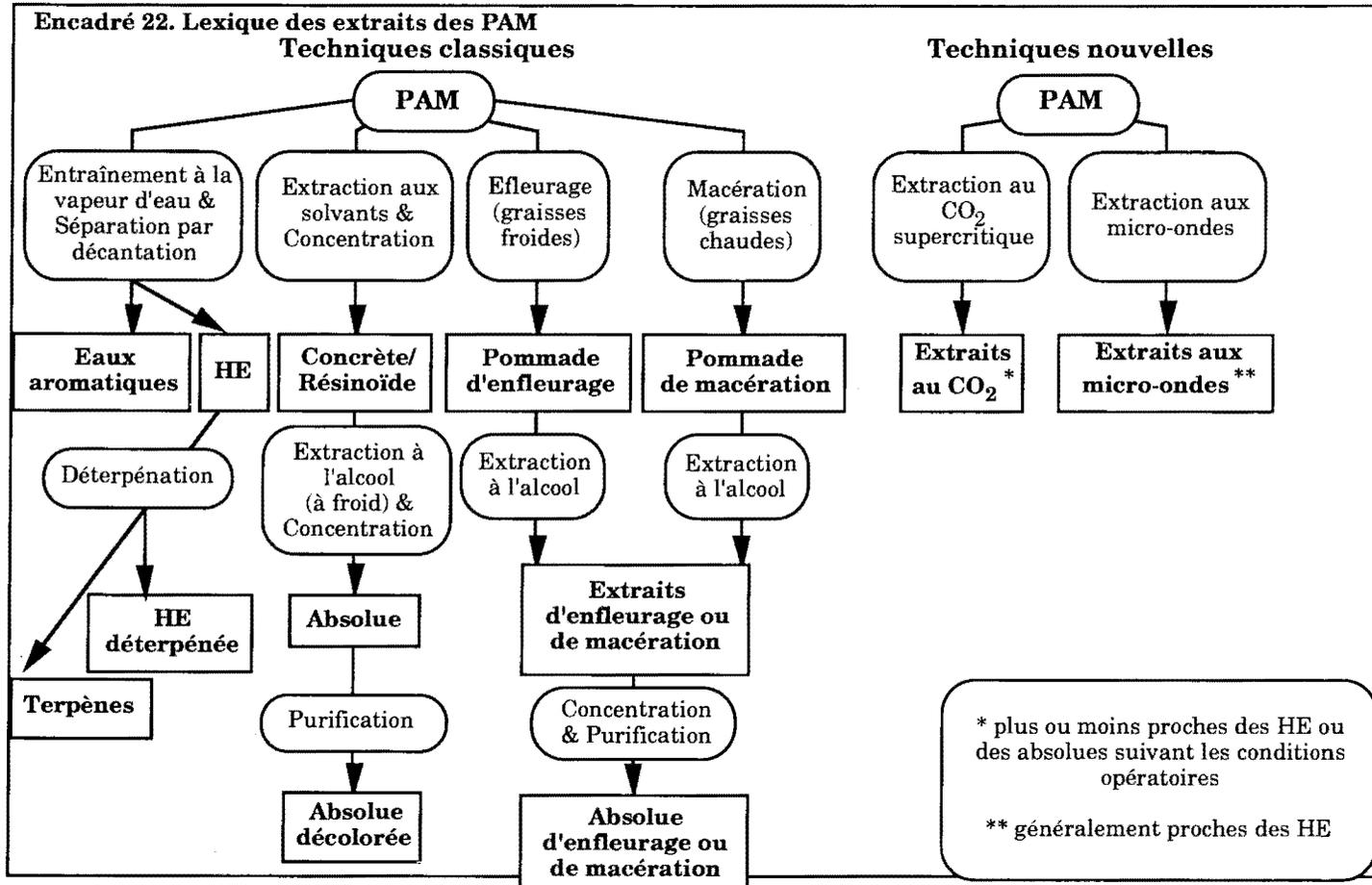
L'isolation des constituants volatils floraux du solvant se fait par concentration sous vide. Le filtrat est concentré dans un alambic, sous vide et à faible température. On obtient alors, une «absolue d'enfleurage» de couleur sombre et de consistance semi-solide du fait de l'existence de faibles quantités de graisses qui ne sont pas éliminées par le froid. L'élimination de ces graisses grâce à d'autres techniques de purification permet d'améliorer la couleur de l'absolue (Encadré 22).

### **2.6.2. Extraction par macération dans la graisse chaude**

Dans ce type de technique, les constituants de l'arôme sont extraits par immersion des fleurs, pendant une demi-heure, dans une graisse chauffée à 80°C, appelée corps. L'ensemble «graisse-fleurs» est abandonné à lui-même pendant une heure environ. L'ensemble est ensuite réchauffé puis filtré à chaud à travers un tamis métallique pour séparer la graisse du matériel végétal épuisé. Puis une nouvelle charge florale peut remplacer l'ancienne jusqu'à «saturation» de la graisse, dénommée alors pommade. Le lavage de la pommade par un alcool fort aboutit à un extrait alcoolique. L'élimination de l'alcool se fait, comme dans le cas de l'enfleurage, par concentration sous vide à basse température. On obtient ainsi une «absolue de macération». Cette méthode est, actuellement, peu utilisée.

<sup>2</sup> Pommade = graisse saturée en constituants volatils

<sup>3</sup> Extrait d'enfleurage = «Solution» alcoolique de constituants volatils plus une faible quantité de graisse.



### 3. DISTILLATION DES PLANTES AROMATIQUES

Par définition, les huiles essentielles sont obtenues, à partir des plantes aromatiques, par entraînement à la vapeur d'eau (Cf. § 2.1). Cette méthode de préparation d'extraits aromatiques est souvent appelée «distillation» des plantes aromatiques. Il faut cependant noter qu'il s'agit là aussi d'un «excès» de langage. Dans une opération de distillation, un constituant d'un mélange donné s'évapore une fois qu'il atteint sa température d'ébullition. Or, les constituants des huiles essentielles sont tous «évaporés» à une température de l'ordre de 100°C (température d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique). Dans ces conditions, pratiquement aucun de ces constituants n'atteint sa température de vaporisation (supérieure à 200°C pour la plupart d'entre eux). Il s'agit en fait d'un phénomène particulier différent de la distillation.

#### 3.1. Mécanisme de la distillation par entraînement à la vapeur d'eau

Les constituants des huiles essentielles se trouvant à l'intérieur du tissu du végétal doivent passer d'abord à la surface de ce dernier avant une éventuelle «évaporation et distillation». Ce passage de l'intérieur du tissu vers la surface du matériel végétal (feuille par exemple) est supposé se faire essentiellement par diffusion (Guenther, 1965). La production des huiles essentielles à partir des plantes aromatiques par entraînement à la vapeur d'eau se ferait donc en deux étapes:

- Diffusion des constituants de l'huile essentielle de l'intérieur des tissus vers la surface du matériel végétal.
- «Évaporation» et entraînement à la vapeur d'eau.

La diffusion est un processus relativement long. Les composés volatils constitutifs de l'huile essentielle sont retenus par la fraction lipidique de la plante, en particulier les hydrocarbures, ce qui ralentit leur entraînement par la vapeur d'eau (Koedam *et al.*, 1979). Cette étape détermine la vitesse de la distillation.

Il est, par ailleurs, connu qu'au cours de l'hydrodistillation, la vitesse de vaporisation des huiles volatiles du matériel végétal est influencée, non seulement par la résistance à la diffusion de l'huile essentielle à travers les tissus cellulaires, mais aussi par le degré de solubilité de ces constituants volatils dans l'eau (Guenther, 1965; Djerrari & Crouzet, 1985).

La distillation des plantes aromatiques et médicinales s'effectue, le plus souvent, à la vapeur directe dans des alambics dont la contenance est très variable, de 3 m<sup>3</sup> (alambics mobiles courants) à une dizaine de m<sup>3</sup> pour les distilleries de grande production. Dans sa forme simple, durant la distillation, l'eau chaude (ou la vapeur) pénètre dans les tissus végétaux et dissout les constituants des huiles essentielles présentes dans les cellules. Cette «solution» aqueuse diffuse à travers les parois cellulaires. C'est l'hydro-diffusion. Quand les composés dissous dans l'eau chaude se trouvent à la surface du tissu végétal, ils s'évaporent par fraction. La vitesse d'évaporation de chaque constituant est fixée par sa tension de vapeur dans les conditions du milieu et non par sa température d'ébullition. La fraction évaporée est entraînée par la vapeur d'eau. Pour rétablir l'équilibre entre la phase liquide et la phase vapeur du constituant considéré (loi de tension de vapeur caractéristique de chaque constituant), une autre fraction passe à l'état gazeux qui est, à son tour, entraînée par la vapeur d'eau vers le condenseur et le phénomène continue. Il s'agit donc bien d'un entraînement par la vapeur d'eau et non d'une distillation à proprement parler. Cependant, le terme «distillation des plantes aromatiques» est bien courant tant chez les professionnels que les scientifiques.

### **3.2. Étapes de la distillation**

L'opération de distillation des plantes aromatiques peut être divisée en cinq étapes.

#### **3.2.1. *Chargement de l'alambic en biomasse végétale***

La biomasse végétale à distiller est chargée dans un conteneur appelé alambic. Le dimensionnement de celui-ci, sa capacité de charge, sa forme, etc. sont discutés dans le chapitre 6.

#### **3.2.2. *Production de vapeur pour l'entraînement de l'HE***

L'entraînement de l'huile essentielle présente dans le végétal est assuré par la vapeur d'eau. La production de cette dernière est une étape cruciale dans l'opération de distillation. Les besoins en vapeur d'eau et les différentes possibilités de sa production en pratique sont discutés dans le chapitre 6

### **3.2.3. Entraînement de l'HE par la vapeur d'eau**

Deux éléments essentiels conditionnent la bonne maîtrise de cette étape: le débit de la vapeur d'eau et la durée de l'opération de distillation. Ces deux éléments sont discutés dans le chapitre 7.

### **3.2.4. Condensation du mélange «Vapeur d'eau + HE»**

Le mélange des vapeurs, vapeur d'eau et des constituants d'huiles volatiles, obtenues dans l'espace de tête de l'alambic, se condense au niveau d'un condenseur. La structure des condenseurs généralement utilisés dans ce domaine est discutée dans le chapitre 6. L'eau froide, à la température ambiante, est le fluide de refroidissement de choix.

### **3.2.5. Séparation physique du mélange «huile essentielle / eau»**

À la sortie du condenseur, les deux liquides non miscibles arrivent au séparateur (décanteur) où ils se séparent par décantation statique basée sur leur différence de densité. Selon la densité moyenne des constituants de l'huile extraite, on distingue trois types de séparateurs<sup>4</sup> (voir Chapitre 6).

## **3.3. Principales variantes des procédés de distillation des plantes aromatiques**

Dans l'industrie, il existe trois méthodes de base pour l'obtention des huiles essentielles: la distillation par l'eau ou «l'hydrodistillation», la distillation à la vapeur d'eau ou «la vapo-hydrodistillation» et la distillation à la vapeur directe, le «générateur de vapeur étant séparé de l'alambic» ou vapodistillation.

Ces trois modes reposent sur le même principe: entraînement des constituants volatils du matériel végétal par la vapeur d'eau. La différence entre eux réside dans le degré de contact entre l'eau liquide et le matériel végétal (Ames & Mathews, 1968).

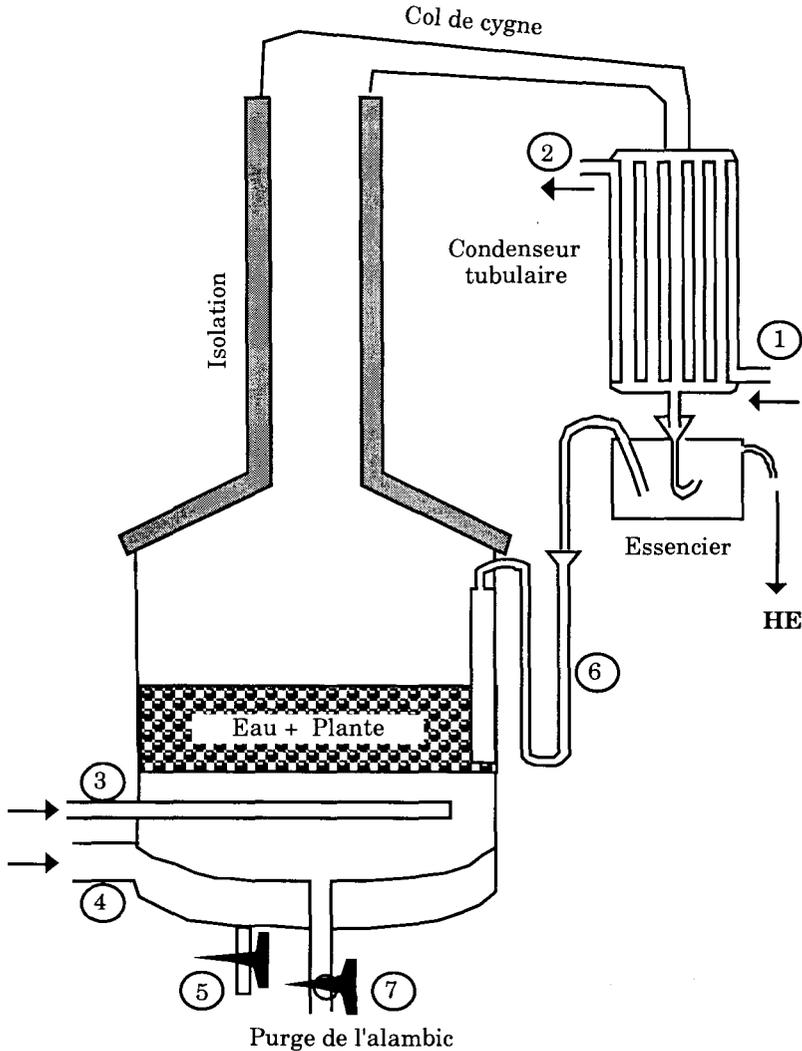
### **3.3.1. Hydrodistillation**

Le matériel végétal à distiller se trouve en contact direct avec l'eau bouillante. Il peut flotter ou être complètement immergé selon sa

---

<sup>4</sup> Le séparateur est également appelé essencier, décanteur ou vase florentin

densité et la quantité de matière manipulée. L'évaporation de l'eau dans l'alambic peut être réalisée par chauffage direct (alambic à feu nu) ou par injection de vapeur surchauffée (Figure 27).



**Figure 27. Coupe schématique d'un alambic pour l'hydrodistillation**

Chauffage indirect (injection de vapeur surchauffée)

Légende: 1: Entrée d'eau froide pour le condenseur; 2: Sortie d'eau du condenseur; 3: Alimentation de l'alambic en eau froide; 4: Admission de la vapeur surchauffée dans la double enveloppe pour la production de vapeur; 5: Purge de la double enveloppe; 6: Système pour cohobation (recyclage des eaux blanches) éventuellement; 7: Purge de l'alambic.

Cette méthode est conseillée pour les matières premières qui, par nature, s'agglutinent facilement et donc empêchent la pénétration de la vapeur d'eau dans la masse végétale comme les pétales de roses, les fleurs d'orangers, etc. (Ames & Mathews, 1968). Elle est encore à conseiller dans les cas où des produits indésirables ont une importante solubilité dans l'eau. Ils sont alors retenus et n'apparaissent pas dans l'huile recueillie. Ainsi, la vapo-hydrodistillation de la partie aérienne de la comptonie voyageuse (*Comptonia peregrina* (L.) Coulter) libère des résines phénoliques indésirables que l'on ne recueille pas en hydrodistillation (G. Collin, communication personnelle, 2002)

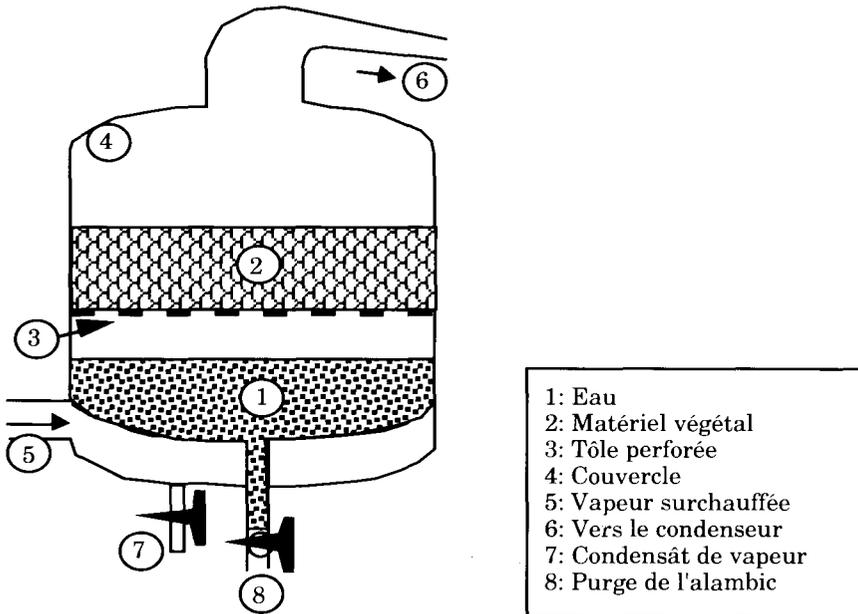
Certaines précautions sont à prendre pour mieux conduire l'opération:

- Dans le cas du chauffage à feu nu, la quantité d'eau doit être suffisante de telle sorte que la couche supérieure de la charge ne soit jamais soumise à une surchauffe.
- L'alambic doit être, autant que possible, chargé de manière à permettre un mouvement suffisamment libre de la plante dans l'eau. Ceci contribue à augmenter la surface de contact entre la vapeur et la plante.
- Il faut veiller à réduire la durée de distillation pour diminuer les phénomènes d'hydrolyse et de décomposition. Certains composés sont facilement hydrolysables dans les conditions d'hydrodistillation. C'est le cas des esters d'alcools tertiaires par exemple.

### **3.3.2. Vapo-hydrodistillation**

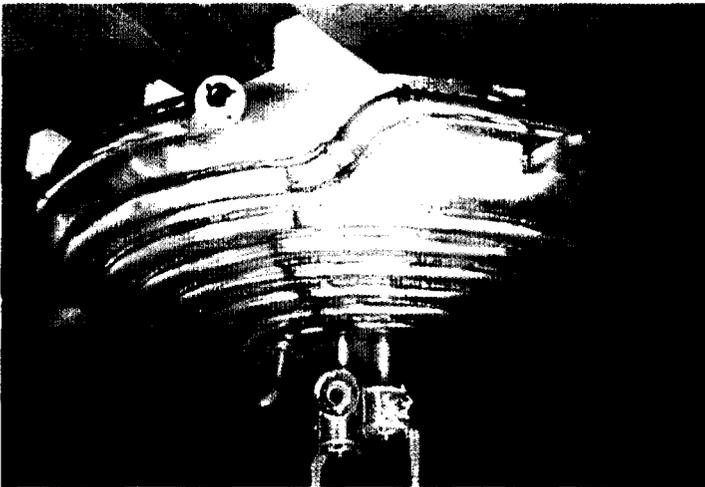
Le matériel végétal, dans ce cas, se trouve supporté par une grille ou une plaque perforée placée à une distance adéquate du fond de l'alambic. La partie inférieure de celui-ci est remplie d'eau. Le niveau de cette dernière doit permettre d'éviter tout contact entre l'eau et la plante.

Comme dans le cas précédent, l'évaporation de l'eau peut être obtenue par chauffage direct (alambic à feu nu) ou par injection directe de vapeur (Figure 28). À l'intérieur de l'alambic, il y a production d'une vapeur saturée, à pression faible, qui traverse, de bas en haut, la masse du végétal.



**Figure 28 a. Coupe schématique d'un alambic pour la vapo-hydrodistillation**

Chauffage assuré par injection de vapeur surchauffée produite séparément



**Figure 28 b. Exemple de fond chauffant par circuit de vapeur soudé**

(Tournaire, 2000, avec la permission de l'auteur)

(Le fond est posé sur le sol et la photo est renversée pour montrer le système de chauffage en position normale. On distingue à la partie inférieure les deux valves de purge).

Néanmoins, cette technique présente quelques inconvénients:

- Le chauffage direct (alambic à feu nu) peut provoquer des points de surchauffe le long de la paroi de l'alambic. Il en résulte qu'une partie du matériel végétal, en contact de cette paroi, se trouve à des températures bien plus élevées que 100°C. Ceci provoque des changements qualitatifs (couleur, composition, odeur, ...) et quantitatifs (rendements) de l'huile essentielle produite.
- Le refroidissement de l'eau avant chaque décharge et le réchauffage de l'eau après chaque chargement se traduit par une consommation importante d'énergie et de temps.

Les principales caractéristiques de cette technique peuvent être résumées comme suit:

- La vapeur utilisée est toujours saturée. Elle ne risque jamais d'être surchauffée.
- Le matériel végétal à distiller est en contact avec la vapeur seulement, ce qui réduit le phénomène d'hydrolyse.
- Dans le cas de l'alambic à «feu nu», le risque de surchauffe est plus important que dans le cas précédent (hydrodistillation).

Lorsque cette méthode de distillation est adoptée, il faut faire attention à l'homogénéisation et à la répartition uniforme de la charge. Celle-ci ne doit contenir ni de grandes racines, ni trop de longues tiges et ne doit pas être d'une granulométrie trop fine.

Il faut également veiller au degré de mouillage de la charge, car un mouillage excessif provoque l'agglutination de la charge végétale qui freine la libération de l'huile essentielle.

Par contre, un minimum de mouillage est nécessaire surtout lorsque le matériel distillé est trop sec. Ainsi le calorifugeage des alambics visant la réduction des pertes d'énergie peut avoir des effets négatifs sur le rendement en huiles essentielles, justement parce qu'il empêche le mouillage nécessaire (mais sans excès) (Taoussi, 1992).

Le contrôle de ces facteurs permet d'éviter l'apparition des chemins préférentiels qui diminuent le rendement en huile essentielle et augmentent la consommation en énergie. Il permet également de garantir les conditions physiques (de mouillage en particulier) optimales pour faciliter l'hydrodiffusion et l'entraînement de l'huile essentielle.

### 3.3.3. Vapodistillation

Cette méthode ressemble à celle qui est décrite précédemment. Cependant, elle en diffère par le fait que, cette fois, il n'y a pas d'eau au fond de l'alambic.

La vapeur saturée ou surchauffée, à pression généralement supérieure à la pression atmosphérique, est introduite au fond de l'alambic par un système de conduites et traverse la masse végétale de bas vers le haut. Ladite vapeur provient d'une «Chaudière» indépendante (Figure 29).

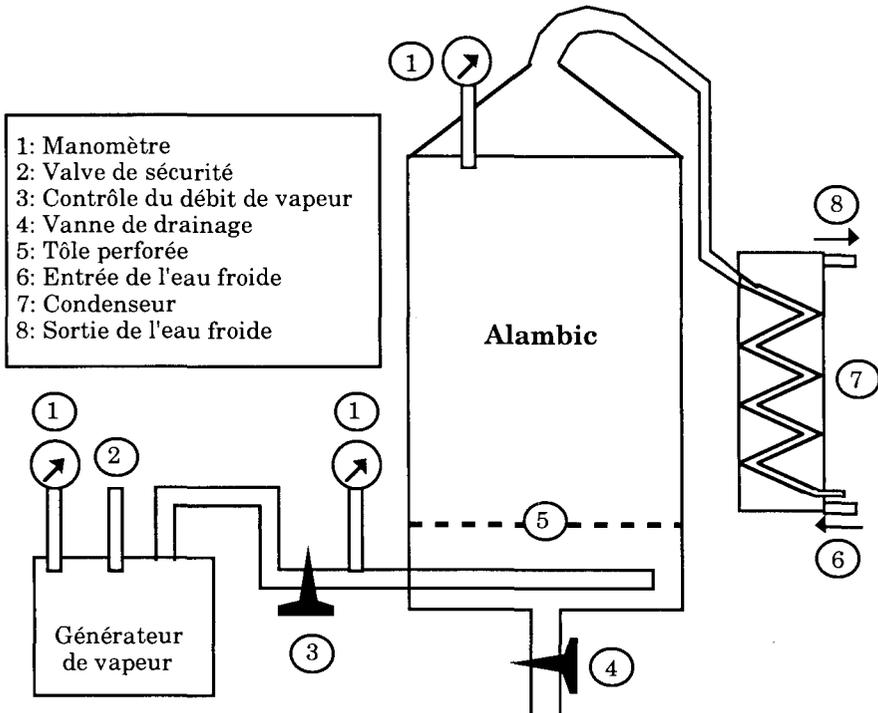


Figure 29. Schéma d'un appareil de distillation des plantes aromatiques à générateur de vapeur séparé de l'alambic

Cette forme de distillation est la plus avancée sur le plan technique. L'alimentation de l'alambic avec de la vapeur surchauffée permet une réduction du coût de l'opération (consommation plus faible d'énergie) (Guenther, 1965).

Toutefois, l'utilisation de la vapeur à haute température pose des problèmes techniques à savoir:

- Le risque de décomposition des constituants de l'huile.
- Lorsque la matière première est sèche, on peut avoir un ralentissement, et même un blocage de l'effet des forces d'hydrodiffusion. De ce fait, la conduite de la distillation par de la vapeur surchauffée est plus délicate que celle par la vapeur saturée.
- Si l'alambic est bien calorifugé, il n'y aura qu'une très faible condensation de vapeur sur le matériel végétal. Or parfois, comme on vient de le noter, il faut avoir suffisamment de condensation pour faciliter la diffusion des huiles essentielles à l'extérieur des tissus du végétal. C'est un facteur critique: si l'humidité du matériel végétal est trop faible, à la suite d'un séchage par exemple, l'huile ne pourra pas être libérée par les tissus des plantes. Il faut alors fournir l'eau nécessaire sous forme d'eau de condensation (Guenther, 1965).
- La vapeur étant toujours prête à l'emploi, le temps de mise en régime de chaque opération (durée séparant la fermeture de l'alambic et la première goutte de distillat) est plus court.
- Les deux dernières caractéristiques font de cette technique une méthode d'extraction relativement plus rapide que les deux précédentes.

#### 4. CONCLUSIONS

On trouve actuellement dans le marché plusieurs procédés proposés pour la préparation d'extraits des PAM à intérêts économiques. Toutefois, trois de ces procédés sont les plus largement utilisés de nos jours: l'entraînement à la vapeur d'eau, l'extraction par solvant et l'extraction au CO<sub>2</sub> supercritique.

Les autres procédés sont peu utilisés, quoique relativement anciens (extraction par les graisses froides ou chaudes), ou sont encore à l'état de développement industriel (extraction assistée par micro-ondes, par exemple). Chacun des trois procédés principaux mériterait des développements techniques nécessaires pour leur maîtrise.

Les chapitres 6, 7 et 8 sont consacrés au premier de ces procédés, à savoir l'entraînement à la vapeur d'eau (ou distillation des plantes aromatiques).

## **DIMENSIONNEMENT ET INSTALLATION D'UNE DISTILLERIE DES PAM**

### **1. INTRODUCTION**

L'installation d'une distillerie des PAM est un projet agro-industriel dont la réussite dépend, entre autres, de la qualité de l'étude technico-économique qui lui a été consacrée. Aussi, l'établissement des éléments de calcul pour le dimensionnement d'une distillerie des PAM, et le choix de son lieu d'installation sont des garants de la durabilité du projet.

La taille d'une distillerie dépend de sa capacité de production. Trois éléments importants doivent être pris en considération pour un dimensionnement adéquat: la capacité de charge d'un alambic, les besoins en vapeur de la distillerie et les besoins en eau de refroidissement (§ 3.2; Chapitre 5).

Ces trois éléments de calcul et la description technique des différents équipements nécessaires à l'installation d'une distillerie des PAM seront passés en revue dans ce chapitre.

### **2. VOLUME ET CAPACITÉ DE CHARGE D'UN ALAMBIC**

Dans la littérature, on trouve souvent des indications assez ambiguës sur la façon de charger un alambic en biomasse végétale. On trouve, par exemple, des indications de type: il faut que le chargement soit assez régulier pour éviter des passages préférentiels pour la vapeur d'eau. On ajoute aussi qu'il faut bien tasser la charge végétale dans l'alambic pour éviter le passage trop rapide de la vapeur d'eau. Toutefois, un tassement trop fort risque un «colmatage» de la masse végétale ce qui ralentit la distillation et «force» la vapeur d'eau à se créer des chemins préférentiels. Muñoz (1987) a évalué la capacité de charge (en kg) d'un alambic au quart (1/4) voire le cinquième (1/5) de son volume (exprimé en litres) pour les espèces végétales les plus courantes (romarin, lavande, ...). Autrement dit, un alambic

de 3 m<sup>3</sup> de volume (l'ordre de grandeur des alambics à feu nu traditionnels) aurait une capacité de charge de 3000 litres/4 à 3000 litres/5 soit 600 à 700 kg par charge.

L'évaluation de l'effet de la charge en matériel végétal sur le rendement en huile essentielle et sur la qualité physico-chimique de cette dernière a été réalisée sur l'eucalyptus grâce à un appareil pilote de 100 l de volume utile (Taoussi, 1992) (Tableau 22). La charge maximale, dans les conditions de travail de cette expérimentation (eucalyptus sous forme de brindilles feuillues ou de feuilles seules, semi-fanées) était de 20 kg soit le 1/5 du volume de l'appareil (pour les feuilles seules).

Tableau 22. Effet de la charge et de la forme\* sur le rendement en huile essentielle d'*E. camaldulensis* Dehn

Forme de matériel végétal	Masse en kg*	% de feuilles	Rendements en huile essentielle (% MS)**
Feuilles seules	20	100	0.59
Brindilles feuillues	15	66	0.94
Brindilles feuillues	12	65	1.1

\*: Dans tous les cas (feuilles seules ou brindilles feuillues), les rendements sont calculés par rapport aux feuilles seules. La partie ligneuse (brindilles sans feuilles) ne contient pas d'huile essentielle. Pour les échantillons sous forme de brindilles feuillues, on détermine séparément le pourcentage des feuilles.

\*\* durée de distillation: 40 min

Source: Taoussi (1992)

Les données du tableau 22 montrent que la distillation des feuilles d'eucalyptus est difficile. Les feuilles seules se tassent plus facilement et s'agglutinent entre elles rendant la circulation de la vapeur et, par conséquent, l'entraînement de l'huile essentielle plus difficile. Les brindilles feuillues donnent à la biomasse végétale, dans l'alambic, une forme moins opaque (plus «spongieuse»). Elles facilitent ainsi la circulation de la vapeur d'eau et sa mise en contact avec l'ensemble de la charge.

Mais dans ce cas, la charge maximale de l'alambic est de 15 kg soit 15/100 ou 3/20 du volume de l'alambic, au lieu de 4/20, minimum rapporté par Muñoz (1987). Mieux encore, la diminution de la charge à 12 kg (12/100 ou 12% au lieu de 1/5 = 20%) améliore encore le

rendement en huile essentielle. Il est évident que ces résultats ne sont rapportés qu'à titre indicatif: ils concernent l'eucalyptus et un appareil pilote donné d'une conception particulière. Toutefois, on pourrait retenir que:

- La capacité de charge d'un alambic dépend de la nature du matériel végétal et de son état (état de son humidité par exemple). La donnée qui fixerait la capacité de charge entre le quart et le cinquième du volume de l'alambic doit être considérée comme vraiment à titre indicatif. Seule l'expérience (ou encore mieux l'expérimentation) donnerait pour chaque espèce végétale, la charge optimale d'un alambic donné.
- La forme du matériel végétal joue un rôle très important dans la réussite de l'opération de distillation. Même si l'huile essentielle est localisée uniquement dans les feuilles (eucalyptus, romarin, armoise, myrte, etc.), la présence d'un minimum de bois dans la charge est nécessaire pour faciliter la circulation de la vapeur d'eau et donc assurer un meilleur entraînement de l'essence recherchée.
- La répartition aussi régulière que possible de la charge végétale à travers tout l'alambic est une condition nécessaire pour la réussite d'un bon épuisement de la plante avec une durée de distillation la plus courte possible. La maîtrise de l'opération (remplissage de l'alambic) ne peut s'acquérir que par l'expérience. On ne devient pas conducteur d'une distillerie du jour au lendemain.
- Le tassement de la charge dans l'alambic de 3 m<sup>3</sup> de volume environ peut se faire par les techniques habituelles. Un ou plusieurs ouvriers montent sur la charge en utilisant essentiellement leurs poids. Dans des alambics plus grands (10 m<sup>3</sup> par exemple), on doit utiliser des techniques de tassement plus efficaces avec des moyens mécaniques appropriés. Quand l'équipement ne dispose pas de ce type de moyens, des techniques plus simples peuvent être adoptées. Certains distillateurs espagnols utilisent un porte-charge (une grue) qui actionne une masse quelconque (exemple: des pneus de gros engins sur lesquels on a fixé une masse de béton) pour tasser la charge de plante dans un alambic de 10 m<sup>3</sup> installé en pleine campagne. Dans tous les cas, on réussit mieux le tassement en commençant à le faire dès le début du remplissage, par couches successives, en se faisant aider par la vapeur. L'injection de la vapeur, à faible débit, facilite le tassement régulier la biomasse végétale.

### 3. PRODUCTION DE VAPEUR D'EAU

#### 3.1. Estimation des besoins en vapeur d'eau

D'après Guenther (1965), les besoins en vapeur d'eau peuvent être déterminés à partir de l'équation de Dalton:

$$W_{H_2O} / W_{huile} = (P_{H_2O} / P_{huile}) \times (M_{H_2O} / M_{huile})$$

$W_{H_2O}$  et  $W_{huile}$  masses respectives de l'eau et de l'huile dans le condensat.

$P_{H_2O}$  et  $P_{huile}$  pressions partielles de vapeur respectives de l'eau et de l'huile dans l'air à la température de l'alambic.

$M_{H_2O}$  et  $M_{huile}$  masse moléculaire de l'eau et masse moléculaire moyenne de l'huile essentielle.

Pour une HE donnée,  $M_{huile}$  est une constante. Pour des conditions physico-chimiques (à l'intérieur de l'alambic) données,  $P_{huile}$  et  $P_{H_2O}$  sont des constantes (état de saturation en général).  $M_{H_2O} = 18$ . On peut conclure, ainsi, que pour une HE donnée et pour des conditions physico-chimiques d'entraînement à la vapeur d'eau données, la consommation en vapeur est proportionnelle à la quantité d'HE produite:

$$W_{H_2O} = K \cdot W_{huile}$$

Pour une espèce végétale donnée, le rendement en HE est connu.

$$\text{Rendement en HE (kg/tonne)} = (W_{huile} / \text{Charge végétale})$$

$W_{huile}$  en kg et charge végétale en tonne

On déduit:

$$W_{huile} = (\text{Rendement} \cdot \text{Charge végétale})$$

$$\text{D'où } W_{H_2O} = K \cdot \text{Rendement} \cdot \text{charge végétale}$$

$$B_{vapeur} = K' \cdot M_{végétal}$$

Avec  $K' = K \cdot \text{rendement}$ .

Les besoins en vapeur ( $B_{vapeur}$ ) sont proportionnels à la charge végétale traitée ainsi qu'à son rendement en HE.

En pratique, la consommation de vapeur est mesurée par la quantité d'eau récupérée après condensation et séparation de l'huile. Diverses causes peuvent augmenter cette consommation:

- Au cours de la distillation, l'huile contenue dans la charge de plante diminue graduellement et la masse d'huile extraite par unité de temps diminue (voir Chapitre 7). Il en résulte qu'on peut être tenté de prolonger l'opération de distillation pour un meilleur épuisement de la matière première. Cela se traduit par une augmentation de consommation de vapeur ainsi que par une modification de la composition de l'huile essentielle obtenue.
- La consommation de vapeur est influencée par le degré d'humidité du matériel végétal: plus le matériel végétal à distiller est chargé d'eau plus il est difficile d'en extraire l'huile essentielle (Tableau 23). Cependant, un matériel végétal trop sec nécessite un minimum d'eau à l'état liquide (fournie par la condensation partielle de la vapeur) pour faciliter la diffusion de l'huile essentielle (Guenther, 1965)

**Tableau 23. Hydrodistillation de la menthe poivrée**

État de la plante	Quantité de vapeur en kg*
Frais	250 - 350
Semi-sec	60 - 80
Sec	30 - 40

\* Quantité de vapeur nécessaire pour extraire 1 kg d'huile essentielle en fonction de la teneur en eau du matériel végétal (Guenther, 1965)

- Dans certains cas, l'huile essentielle ou certains de ses constituants sont fortement liés aux tissus du matériel végétal. Son extraction demande beaucoup d'énergie et beaucoup de vapeur. Un tel phénomène est représenté par la figure 30. En moins de 30 minutes, la presque totalité des pinènes (alpha et bêta) est extraite par hydrodistillation à partir de *Tanacetum annuum* L. dans un appareil de Clevenger classique. Après cinq heures de distillation dans les mêmes conditions, le même matériel végétal est loin d'avoir libéré tout son contenu en chamazulène et, surtout, en 3,6-dihydrochamazulène (Greche, 1999).
- Le découpage ou broyage, plus ou moins grossier de la matière végétale, influe sur la consommation de vapeur. Plus on découpe la matière première, plus on augmente la surface d'échange et plus on facilite la libération de l'huile, mais un découpage très

poussé rendant le matériel végétal trop fin provoque l'apparition de chemins préférentiels et donc, une perte d'énergie et une baisse de rendement en huile essentielle.

- L'existence de substances non volatiles ou à point d'ébullition élevé telles que les résines, acides gras, etc. se mélangent avec les huiles volatiles entraînant une diminution de la pression de vapeur. De ce fait, les vitesses d'évaporation et d'entraînement des constituants de l'HE se trouvent réduites.

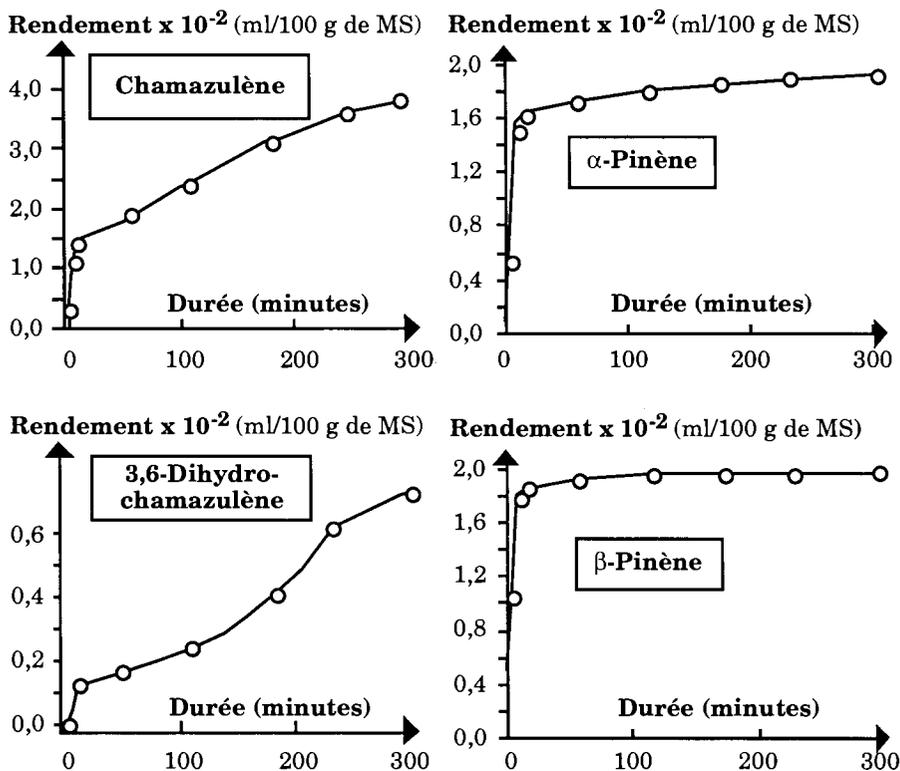
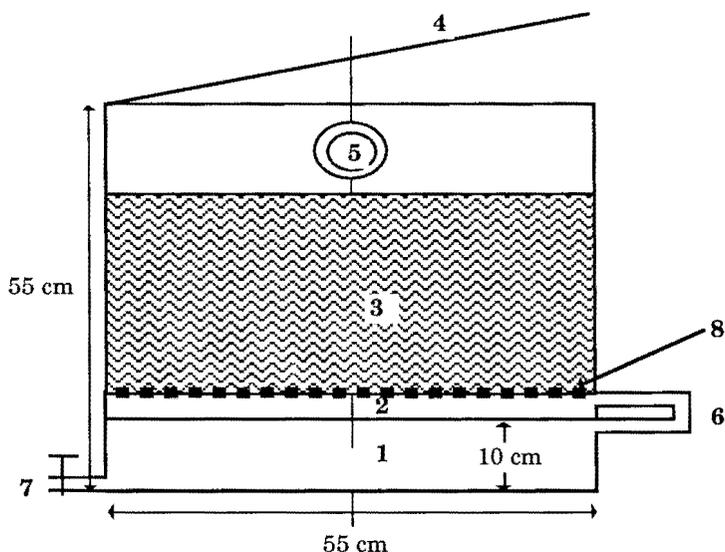


Figure 30. Cinétiques d'extraction comparées de quatre hydrocarbures pendant la distillation de *Tanacetum annuum* L. (Greche, 1999)

À titre indicatif, dans le cas de la lavande, Muñoz (1987) a estimé la quantité de vapeur nécessaire pour distiller 5000 kg de matière végétale pendant une demi-heure à environ 460 kg soit 9.2% (qu'on peut arrondir à 10%) de la masse végétale traitée. Les distillateurs du romarin au Maroc consomment, en moyenne, 20 kg de vapeur par quintal. Cette valeur peut descendre à 16 kg ou remonter à 30 kg suivant l'état du végétal et la pratique du distillateur.

Pour évaluer l'effet du débit de vapeur sur le rendement en huile essentielle, on a utilisé l'*E. camaldulensis* Dehn comme matière première et l'appareil pilote de la figure 31 comme alambic de distillation. La consommation de vapeur a été estimée par le volume des eaux blanches (= eaux de condensation) produites pendant 50 min de distillation (Tableau 24).



**Figure 31. Schéma d'un appareil pilote pour la vapo-hydrodistillation des plantes aromatiques**

Légende. 1: Partie «chaudière» de l'alambic pour la vapo-hydrodistillation, 2: Chambre d'injection de la vapeur; 3: Charge de la biomasse végétale dans la cuve de distillation, 4: Couvercle, 5: Col de cygne; 6: Conduite de la vapeur; 7: Entrée de vapeur en cas de vapo-distillation et conduite de purge de la partie «chaudière»; 8: Grille métallique supportant la charge végétale

**Tableau 24. Effet du débit de vapeur sur le rendement en huile essentielle d'*E. camaldulensis* Dehn obtenue par vapo-distillation\***

D'après Slama (1994)

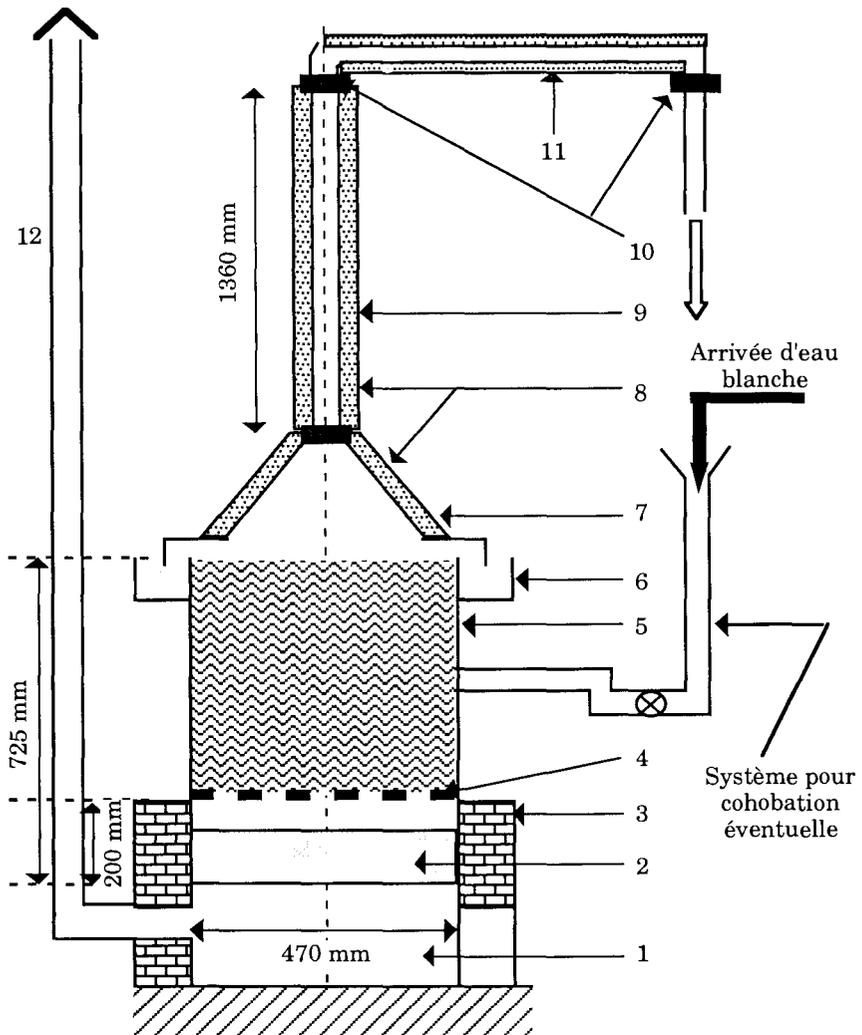
Eaux blanches récupérées (en litres)	Rendements en huile essentielle (% MS)
19.0	1.15
22.5	1.31
26.5	1.01
28.5	0.98
36.0	0.88

\*: Dans cette expérimentation, la vapeur est produite par un générateur de vapeur séparé de l'alambic. La vapeur obtenue est injectée dans le fond de l'alambic chargé en matériel végétal

Il y a un optimum pour le débit de vapeur qui donne le meilleur rendement en huile essentielle: 22.5 l pour une charge de 60 kg de végétal traité, soit une masse de vapeur de 37% par rapport à la charge végétale (contre 10% rapportée par Muñoz, 1987). Un autre travail a été réalisé dans le même laboratoire sur la même plante, mais en utilisant un autre appareil pilote (Figure 32). Le rendement en huile essentielle dépend du débit de vapeur, mais le débit optimum est différent. Il avoisine les 50% du poids de la charge végétale (Mettali, 1994).

À partir de ces données, on peut dire que:

- Le débit de vapeur a un effet certain sur le rendement en huile essentielle. Il y a un débit optimal pour lequel on est assuré du meilleur rendement dans les conditions de travail considérées (Equipements et procédé de distillation utilisés et espèces végétales concernées). En deçà de ce débit optimal, on n'arrive pas à entraîner toute l'huile essentielle potentiellement extractible. Au-delà de ce débit optimal, on perd aussi bien en rendement de distillation qu'en énergie consommée. Il semble qu'un fort débit de vapeur augmente les pertes par solubilisation d'une fraction de l'huile essentielle dans les eaux de condensation. On peut également supposer qu'un fort débit de vapeur réduit les possibilités de condensation d'une partie de la vapeur sur la masse végétale. Or, un minimum d'humidification de cette masse est nécessaire pour faciliter la diffusion des gouttelettes d'essence de l'intérieur du tissu végétal vers la surface avant son entraînement par la vapeur d'eau.
- Le débit optimum ne peut être établi que cas par cas. Muñoz (1987) a établi ses données à partir de la distillation de la lavande à l'aide d'un almbic à bain-marie (voir § 7.1; Chapitre 7) de 10 m<sup>3</sup> (environ 2 à 2.5 t de capacité de charge). Slama (1994) et Mettali (1994) ont tous travaillé sur l'eucalyptus, mais le premier a utilisé un appareil d'un m<sup>3</sup> de volume avec générateur de vapeur séparé, l'autre s'est servi d'un alambic pilote de volume 10 fois plus petit fonctionnant par vapo-hydrodistillation. Les débits optimaux de vapeur ont été très différents comme on vient de le voir.
- Pour mieux réussir la distillation des plantes aromatiques, il faut pour chaque espèce et, pour des équipements et procédés donnés, déterminer le débit optimal de vapeur. L'essai peut demander quelques jours de travail, mais cela permettrait de mieux gérer sa distillerie tant pour ce qui est des rendements que pour des dépenses en énergie.



**Figure 32. Appareil pilote pour la distillation des plantes aromatiques**

Légende: 1: Foyer construit en briques réfractaires; 2: Partie «chaudière» pour la production de vapeur; 3: Support de l'alambic; 4: Grille métallique supportant la masse végétale; 5: alambic proprement dit chargé de matériel végétal; 6: Joint d'étanchéité à l'eau; 7: couvercle en forme conique; 8: Isolant thermique (laine de verre); 9: Colonne de rectification amovible; 10: Raccords; 11: Conduite de la vapeur vers le condenseur avec son isolant thermique; 12: Cheminée; =>: Vers le condenseur (en tubes parallèles)

### 3.2. Sources d'énergie pour la production de vapeur

*A priori*, plusieurs combustibles peuvent être utilisés pour la production de la vapeur nécessaire à la distillation:

- Combustibles solides naturels : la houille, le lignite, le bois et les déchets végétaux. Notons qu'une fois séché, le matériel végétal, sous-produit de la distillation (tourteau), constitue souvent un bon combustible.
- Combustibles solides artificiels (coke et charbon de bois).
- Combustibles liquides (gazole et fuel).
- Combustibles gazeux (hydrocarbures naturels: propane, butane, gaz naturel, gaz des gazogènes, des fours à coke et hauts fourneaux).
- Autres sources d'énergie (électrique, solaire..).

Quelle que soit la nature du combustible, ce dernier est caractérisé par son pouvoir calorifique (PC). Le tableau 25 présente les PC des principaux combustibles disponibles sur le marché marocain.

**Tableau 25. Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de quelques combustibles disponibles au Maroc**

D'après RCG Hagler, Bailly, Inc. (1991)

Combustible	PCI en		tep/t
	kcal/kg	GJ/t	
Charbon local (anthracite)	5 600	23,4	0,56
Charbon importé	6 600	27,6	0,66
GPL (propane, butane)	10 800	45,2	1,08
Gasoil	10 200	42,7	1,02
Fuel lourd N°. 2	9 600	40,2	0,96
Fuel lourd N°. 7	9 800	41,0	0,98
Bois	4 400	18,4	0,44
Bagasse	3 000	12,6	0,30
Grignons d'olives	4 300	18,0	0,43

1 GJ = 1 million de kJ = 238 920 kcal .

1 tep (tonnage équivalent en pétrole) = 41 855 GJ = 10<sup>9</sup> kcal;

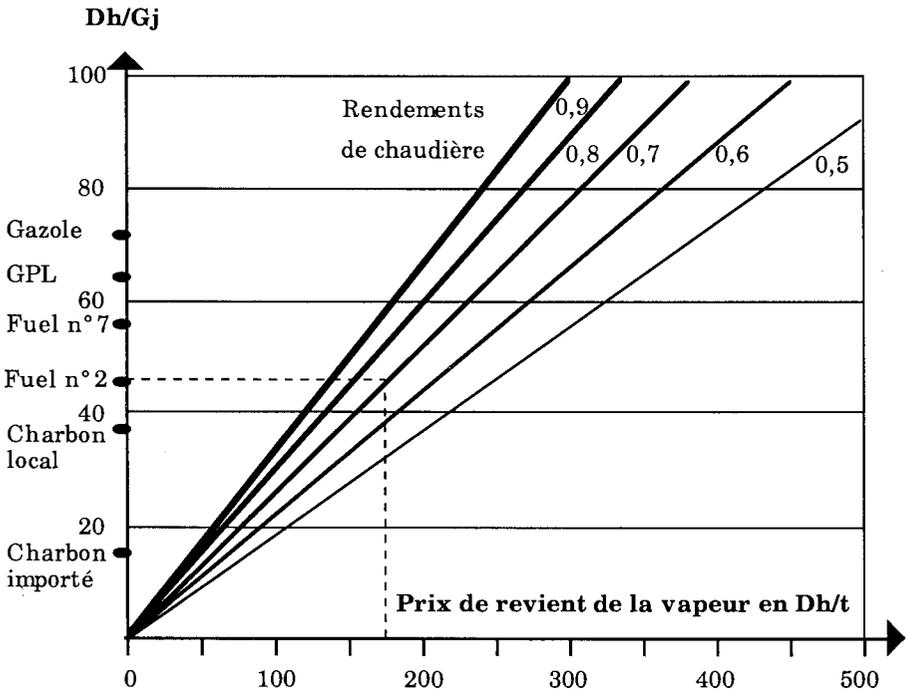
Le bois et le grignon d'olive ont des PC voisins de ceux du charbon local du Maroc. Ainsi, la valorisation de ces déchets dans l'industrie agroalimentaire peut s'avérer très intéressante. On estime le PC de la matière première épuisée (matériel végétal après distillation) comparable à la bagasse soit un pouvoir calorifique de l'ordre de 3000 kcal/kg ou légèrement supérieur (environ 3200 kcal/kg d'après Muñoz, 1987)

### 3.3. Choix du combustible

Le choix d'un combustible résulte d'une étude comparative des frais d'exploitation et des dépenses d'investissement. Les frais d'exploitation font intervenir:

- Le prix de la thermie vapeur résultant du prix du combustible, du pouvoir calorifique, des frais d'exploitation du parc et du rendement de la chaudière.
- Le coût de la main-d'œuvre.
- Les dépenses d'entretien.
- L'amortissement des coûts d'investissement (capitalisation). Les frais d'investissement comprennent principalement le prix de la chaudière et des équipements connexes.

La figure 33 permet de calculer le prix de revient d'une tonne de vapeur pour certains combustibles industriels classiques. Le tableau 26, donné à titre d'indication, présente les coûts normalisés de l'énergie pour les différents combustibles utilisés au Maroc.



**Figure 33. Estimation du prix de revient d'une tonne de vapeur d'eau pour certains combustibles classiques (cas du Maroc)**  
 D'après RCG Hagler, Bailly, Inc. (1991)

**Tableau 26. Coûts normalisés de l'énergie pour les différents combustibles au Maroc** D'après RCG Hagler, Bailly, Inc. (1991)

Combustibles	Coût moyen du combustible en DH/t	Coût moyen de l'énergie en DH/Gj
Charbon local (anthracite)	830	35.4
Charbon importé	500	18.1
GPL (propane, butane)	2800	61.9
Gasoil	2870	67.2
Fuel lourd N°. 2	1875.5	46.7
Fuel lourd N°. 7	2387	58.2
Electricité	0.90 DH/kwh	250

1 GJ = 1 million de kJ = 238 920 kcal

### 3.4. Pression de vapeur dans l'alambic

Dans les alambics traditionnels, la pression de vapeur est voisine de la pression atmosphérique. Un léger surplus à l'entrée de l'alambic est, cependant, nécessaire pour compenser la perte de charge induite par la traversée de la charge végétale. Il existe également aujourd'hui des alambics modernes fonctionnant à des pressions voisines de la pression atmosphérique. On parle alors d'alambics à basse pression (voir § 7.1; Chapitre 7).

Pour certaines matières premières, ce type de procédés n'est pas efficace. C'est en particulier le cas lorsqu'on distille des graines. Dans pareils cas, on est obligé d'utiliser de la vapeur sous pression. Des pressions de vapeur allant de 1.033 à 2 kg par cm<sup>2</sup> sont ainsi courantes dans de telles situations. Ce type de procédés (distillation à la vapeur sous pression) implique de nouvelles contraintes:

- L'augmentation de la pression de vapeur augmente la température de cette dernière dans l'alambic. Dans ces conditions, la distillation par entraînement à la vapeur d'eau permet d'entraîner des molécules à masses molaires plus élevées. Ceci induit des modifications, plus ou moins importantes, dans la composition de l'huile essentielle obtenue. Ces modifications sont d'autant plus importantes que la pression de vapeur est élevée.
- L'utilisation de la vapeur sous pression oblige à prévoir un système de sécurité sur l'alambic. Selon la réglementation en vigueur et compte tenu de la pression utilisée, on peut être appelé à faire timbrer l'alambic par les autorités compétentes. Ce sont des précautions supplémentaires dont il faut tenir compte pour la construction d'un alambic fonctionnant sous pression.

### 3.5. Formes de production de vapeur

Les trois principales variantes de distillation des plantes aromatiques (hydrodistillation, vapo-hydrodistillation et vapodistillation) ont été définies auparavant (*Cf.* § 3.3; Chapitre 5).

Dans les deux premiers cas (hydrodistillation et vapo-hydrodistillation), la vapeur est produite dans l'alambic lui-même. Deux procédés distincts sont généralement utilisés pour produire de la vapeur d'eau dans ces conditions.

Le premier procédé utilise des alambics à double fond et/ou à double enveloppe latérale située dans la partie inférieure de l'appareil. De la vapeur d'eau surchauffée produite dans un générateur séparé est injectée dans ce double fond et circule en circuit fermé. L'échange thermique entre cette vapeur et l'eau se trouvant à l'intérieur de l'alambic permet de produire la vapeur nécessaire à l'entraînement de l'huile essentielle. Dans le cas de la vapo-hydrodistillation, le double fond peut être remplacé par une tuyauterie en circuit fermé qui relie la chaudière à l'alambic, dans sa partie «générateur de vapeur». À ce niveau, la tuyauterie qui transporte la vapeur surchauffée plonge directement dans l'eau à évaporer. L'échange thermique, à travers la paroi de la tuyauterie, entre la vapeur surchauffée et l'eau permet l'évaporation nécessaire. Dans tous les cas (échange thermique par double fond, double enveloppe ou par tuyauterie transporteuse de la vapeur surchauffée) un bon dimensionnement de la surface d'échange est obligatoire.

Le deuxième procédé, certainement le plus simple techniquement, consiste à chauffer directement la partie «générateur de vapeur» de l'alambic: alambic à feu nu (voir Chapitre 10) ou alambic à bain-marie (voir Figures 39 et 40, Chapitre 7). Divers combustibles peuvent être utilisés pour réaliser ce chauffage (*Cf.* § 3.2 et 3.3). Dans cette configuration (chauffage direct), il est également important de tenir compte de la surface d'échange thermique qui permet d'exploiter au mieux la quantité de chaleur dégagée par la combustion. Utilisant un alambic à bain-marie (*Cf.* § 7.1, Chapitre 7). Muñoz (1987) a évalué la surface d'échange thermique à environ 44 m<sup>2</sup> pour un appareil dont les besoins en vapeur ont été estimés à 600 kg de vapeur/h. Dans ces conditions, l'auteur a estimé les pertes en énergie produite à environ 50%.

Dans le troisième procédé de distillation (vapodistillation), la vapeur d'eau servant à l'entraînement de l'huile essentielle est produite dans une chaudière séparée. Elle est injectée directement dans l'alambic grâce à des diffuseurs appropriés. La géométrie de ces derniers doit permettre une répartition de la vapeur, à l'entrée de l'alambic, aussi régulière que possible. Plusieurs configurations peuvent être adoptées. Les formes les plus courantes sont constituées de tubes en croix grecque ou des tubes disposés en 2 ou 3 circonférences concentriques. La vapeur arrive généralement au centre du dispositif. Quelle que soit la disposition, les tubes sont percés de trous dont la somme des diamètres doit être légèrement inférieure à celui du tube-mère alimentant l'unité en vapeur. Le non-respect de cette règle rend les trous les plus éloignés du centre moins alimentés en vapeur. De ce fait, les débits auxquels ils donnent lieu sont plus faibles que ceux qui sont obtenus dans les buses proches du centre et donc une mauvaise répartition de vapeur. La disposition géométrique de ces buses doit également être bien étudiée pour avoir une répartition aussi régulière que possible sur toute la surface d'entrée de l'alambic. Une grille perforée au-dessus du diffuseur de vapeur peut aider à régulariser la répartition de cette dernière. L'encadré 23 résume les principaux éléments de calcul d'une distillerie.

### **Encadré 23. Principaux éléments de calculs d'une distillerie**

#### **1. Capacité de charge d'un alambic**

Pour les plantes classiques, distillées sous forme de biomasse entière (romarin, lavande, armoise, thym, ...), la capacité de charge d'un alambic varie de 0.2 à 0.25 kg de biomasse végétale par litre d'alambic.

#### **2. Consommation de vapeur**

Les besoins en vapeur sont variables selon les auteurs, les technologies et les objectifs recherchés:

- Muñoz (1987) utilisant un alambic à bain-marie (voir Chapitre 7) a estimé ces besoins à 10% environ de la charge végétale.
- La plupart des distillateurs de romarin au Maroc, utilisant des alambics classiques à feu nu, estiment leurs consommations en vapeur à 20% de la charge végétale (en moyenne). Cette consommation peut descendre à 16% et monter jusqu'à 30% selon l'état du végétal et selon les distillateurs.

#### **3. Formes de production de vapeur**

On s'intéresse ici à la vapohydrodistillation essentiellement, la plus utilisée par les distillateurs traditionnels. Pour l'hydrodistillation et la vapodistillation, les lecteurs intéressés peuvent se reporter au texte général.

Pour la vapohydrodistillation, la vapeur peut être produite par chauffage direct ou indirect.

- Dans le cas du chauffage direct, il faut veiller à utiliser une surface d'échange thermique, entre l'alambic et le feu du foyer, la plus grande possible. Quand on considère l'alambic de la figure 71 (Chapitre 10), la surface d'échange potentiellement disponible peut être calculée comme suit:

i. Surface d'échange par le fond:  $1.77 \text{ m}^2$

ii. Surface latérale (de la partie «chaudière» de l'alambic):  $2.36 \text{ m}^2$  soit 1.3 fois la surface précédente (celle du fond de l'alambic).

iii. La surface d'échange totale peut ainsi être estimée à  $4.13 \text{ m}^2$ . Muñoz (1987) avait évalué la surface d'échange, pour la production de 600 kg de vapeur par heure, à  $44 \text{ m}^2$ , soit  $3 \text{ m}^2$ , environ, pour la production de 40 kg de vapeur par heure (cas des distilleries traditionnelles utilisant l'alambic de la figure 71). Les quatre  $\text{m}^2$  disponibles dans le cas de ce dernier alambic sont donc suffisants. Cependant, il faut que le montage de l'alambic permette d'utiliser, autant que possible, la totalité de cette surface, tout en évitant de la dépasser. En effet, l'exposition au chauffage direct d'une partie de la paroi de l'alambic (au-dessus de la partie «chaudière») peut avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'HE (Voir Encadré 32)

- Dans le deuxième cas (chauffage indirect), la vapeur surchauffée est produite dans un générateur de vapeur séparé. Elle est injectée, en circuit fermé, dans le double fond et/ou la double paroi latérale de l'alambic. Cette méthode est techniquement plus intéressante que le feu nu, mais elle est plus coûteuse. Elle exige une chaudière et des alambics à double fond et/ou double paroi.

#### 4. Énergie nécessaire à la production de vapeur

$$Q_c = M_{\text{eau}} (100 - T_{\text{e.f.}}) + M_{\text{eau}} \times 540$$

Avec  $M_{\text{eau}}$  = masse d'eau à évaporer;  $T_{\text{e.f.}}$  = température de l'eau froide soit  $20^\circ\text{C}$  (à titre d'exemple).

On déduit ainsi:

$$Q_c = M_{\text{eau}} \times 620$$

Pour un quintal de végétal et en estimant les besoins de vapeur à 20%, on a:

$$Q_c = 20 \times 620 = 12.400 \text{ kcal / quintal de végétal traité}$$

#### 5. Source d'énergie

Plusieurs sources d'énergies peuvent être utilisées (Cf. Texte principal). Toutefois l'une des sources d'énergie la plus courante, surtout dans les distilleries installées en pleine campagne, est certainement la biomasse végétale, sous-produit de la distillation elle-même (voir Encadré 33).

#### 6. Besoins en eau froide pour la condensation de vapeur

La consommation d'eau froide pour la condensation de vapeur d'eau chargée d'HE est très variable (100 à 900 kg d'eau froide/quintal de végétal). Elle dépend de la technologie de distillation utilisée (consommation de vapeur) et de l'efficacité du condenseur (voir Encadré 24)

#### 4. BESOINS EN EAU FROIDE

Les besoins en eau pour le refroidissement du condenseur dépendent de la quantité de vapeur à condenser. Celle-ci a été estimée à 10% de la masse végétale traitée, dans le cas d'une installation moderne de distillation, 20% en moyenne dans une distillerie traditionnelle (Cf. § 3.1). Le condenseur doit ainsi être capable de ramener cette vapeur (vapeur d'eau essentiellement) de l'état de vapeur à 100°C et à la pression atmosphérique à l'état d'eau liquide à 40°C environ. Cette température peut descendre jusqu'à 30°C d'après Guenther (1965). En pratique, pour faciliter la décantation de l'huile essentielle dans le vase florentin, il est plus judicieux de ne pas descendre trop au-dessous de 40°C. L'eau de refroidissement est admise dans le condenseur à des températures variant, généralement, entre 20 et 25°C. Cette même eau sortirait du condenseur à 70°C selon Muñoz (1987)<sup>1</sup>. Guenther (1965) rapporte qu'un condenseur correctement calculé doit donner une eau de refroidissement, à sa sortie, à une température de 80°C

Pour réaliser cette opération (condensation des vapeurs produites dans l'alambic et arrivées au condenseur), on doit évacuer les quantités de chaleur  $Q_c$ :

$$Q_c = Q_v \times 540 + Q_v \times \Delta\theta = Q_v \times (540 + \Delta\theta) \quad [1]$$

$Q_c$  = Quantité de chaleur en kcal / unité de temps (durée d'une distillation par exemple) x unité de masse de végétal traité (1 quintal par exemple)

$Q_v$  = Quantité de vapeur en kg / unité de temps (=durée d'une distillation par exemple) x unité de masse végétale traitée (1 quintal)

$\Delta\theta$  = 100°C - température du condensat à la sortie du condenseur (généralement 40 °C), soit  $\Delta\theta$  = 60°C d'où:

$$Q_c = Q_v \times 600 \quad [2]$$

L'eau froide utilisée pour le refroidissement du condenseur peut être calculée comme suit:

$$Q_{e.f.} \cdot \Delta\theta = Q_c = Q_v \cdot 600 \text{ ou } Q_{e.f.} = Q_v \cdot 600/\Delta\theta \quad [3]$$

<sup>1</sup> L'auteur parle d'une température de 40°C d'eau de refroidissement à la sortie du condenseur. Mais en réalité c'est une confusion que l'auteur a faite dans son texte. La reprise des calculs qui ont suivi a montré que l'auteur a utilisé 70°C comme température d'eau de refroidissement à la sortie du condenseur.

La quantité d'eau froide ( $Q_{e.f.}$ ) consommée par le condenseur est donc fonction de deux variables:

- $Q_v$  qui dépend de la technique de distillation et de son équipement comme on vient de le voir.
- $\Delta\theta$  qui est la différence de température de l'eau froide à l'entrée ( $T_{e.f.e.c}$ ) et à la sortie ( $T_{e.f.s.c}$ ) du condenseur, soit  $\Delta\theta = T_{e.f.s.c} - T_{e.f.e.c}$ .  $\Delta\theta$  est ainsi fonction de l'efficacité du condenseur. L'encadré 24 donne des exemples de calculs des besoins en eau de refroidissement et montre les effets des équipements de distillation sur cette consommation.

#### Encadré 24. Besoins en eau froide ( $Q_{e.f.}$ ) pour le condenseur

1. La masse d'eau froide nécessaire, pour faire fonctionner le condenseur, peut être estimée d'après la relation 3 (§4):

$$Q_{e.f.} = Q_v \cdot 600/\Delta\theta$$

$Q_{e.f.}$  = Masse d'eau de refroidissement en kg par quintal de végétal

$Q_v$  = Masse de vapeur consommée en kg par quintal de végétal

$\Delta\theta = T_{e.f.s.c} - T_{e.f.e.c}$

$T_{e.f.s.c}$  = Température d'eau de refroidissement à la sortie du condenseur

$T_{e.f.e.c}$  = Température d'eau de refroidissement à l'entrée du condenseur

2.  $Q_v$ , comme on l'a déjà souligné dans le texte principal, varie selon les équipements, les techniques de distillation et la nature du végétal traité. Diverses valeurs sont rapportées dans la littérature et par les professionnels. On retiendra dans ce calcul, à titre d'exemple, trois valeurs: 10%, 20% et 30% (Cf. § 3.1 et Encadré 23).

3.  $T_{e.f.e.c}$  peut être fixée à 20°C.  $T_{e.f.s.c}$  dépend de l'efficacité du condenseur. Un condenseur à tubes parallèles, fonctionnant à contre-courant et bien dimensionné donnerait une température d'eau de refroidissement à la sortie de 80°C (Guenther, 1965). Un condenseur constitué d'un simple serpentin en zigzag plongé dans un bassin statique (eau de refroidissement changée manuellement) donnerait une température à la sortie de 40°C. Un condenseur d'efficacité moyenne donnerait une  $T_{e.f.s.c} = 60^\circ\text{C}$  environ.

4. Avec ces différentes données, on peut estimer les besoins en eau froide, dans différentes situations, comme suit:

$Q_v$ (kg/q)	10	20	30	10	20	30	10	20	30
$T_{e.f.s.c}$ (°C)	40	40	40	60	60	60	80	80	80
$T_{e.f.e.c}$ (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$Q_{e.f.}$ (kg/q)	300	600	900	150	300	450	100	200	300

5. Les besoins en eau froide varient de 100 à 900 kg par quintal de végétal suivant l'efficacité du condenseur et de l'appareil de distillation, d'une part, et de la nature du végétal (facteur  $Q_v$ ), d'autre part.

En résumé:

- Quel que soit le procédé utilisé et quelle que soit l'espèce végétale soumise à distillation, les besoins en eau de refroidissement, peuvent être estimés par la relation 3 précédente. Ces besoins dépendent de la nature du matériel végétal à traiter et de la technique de distillation mise en œuvre (puisqu'elles dépendent de  $Q_v$ ). Ils dépendent également de l'efficacité du condenseur (puisqu'ils dépendent de  $\Delta\theta$ ). Les conditions du milieu ( $T_{e.f.e.c}$ ) influent également sur ces besoins.
- Les besoins globaux, en eau, d'une distillerie, peuvent être évalués comme suit:

$$Q_{e. \text{ total}} = Q_v + Q_{e.f} = Q_v (1 + 600/\Delta\theta) \quad [4] \text{ (Encadré 25)}$$

$Q_{e. \text{ totale}}$  = Besoins en eau pour la production de vapeur et pour la condensation de cette dernière (en kg pour 1 quintal de matériel végétal traité)

$Q_v$  = Quantité de vapeur en kg nécessaire pour l'entraînement de l'huile essentielle d'un quintal de matériel végétal (10 à 30 kg de vapeur) (Cf. § 3.1)

$\Delta\theta$  = Différence de température de l'eau froide entre l'entrée et la sortie du refroidisseur ( $\Delta\theta = 20$  à  $60$  °C). Cette valeur ( $\Delta\theta$ ), qui peut faire varier les besoins en eau de refroidissement du simple au triple, dépend essentiellement de l'efficacité du condenseur.

Le besoin en eau est une donnée importante qui peut constituer une contrainte fondamentale pour l'installation d'une distillerie à un endroit quelconque. Le procédé de distillation et les équipements utilisés (types d'alambic et de condenseur) peuvent amplifier ou réduire l'effet de ce facteur.

#### Encadré 25. Consommation globale en eau d'une distillerie

1. Les besoins totaux en eau d'une distillerie peuvent être estimés d'après la relation 4:

$$Q_{e. \text{ totale}} = Q_v (1 + 600/\Delta\theta)$$

Avec:

$Q_{e. \text{ totale}}$  = Besoins en eau pour la production de vapeur et pour la condensation de cette dernière (en kg pour 1 quintal de matériel végétal traité)

$Q_v$  = Quantité de vapeur en kg nécessaire pour l'entraînement de l'huile essentielle d'un quintal de matériel végétal.

$\Delta\theta$  = Différence de température de l'eau froide entre l'entrée et la sortie du refroidisseur.

2. Dans l'encadré 24, on a évalué la consommation d'eau froide, par quintal de végétal, pour plusieurs situations différentes:  $\Delta\theta = 20, 40$  ou  $60^\circ\text{C}$  et  $Q_v = 10, 20$  ou  $30$  kg de vapeur par quintal de végétal.

3. À partir des données de l'encadré 24, on peut estimer les besoins globaux en eau d'une distillerie (par 24 h). Pour ce faire, on considère une distillerie constituée de deux alambics simples de  $3\text{ m}^3$  chacun (6 quintaux de charge par alambic) qui fonctionne pendant 16h/24h. La durée de distillation est de 4h au total soit 4 charges par alambic ou 8 charges, pour la distillerie, en 24 h. Les besoins en eau de cette distillerie peuvent être évalués comme suit:

$$\text{Besoins en eau par 24 h} = Q_G \\ = Q_{e.\text{totale}} (\text{ par quintal}) \cdot 6 (\text{charge d'un alambic}) \cdot 8 (\text{nombre de charges/24h})$$

Le tableau suivant résume les résultats obtenus:

$Q_v$ (kg /q)	$T_{e.f.s.c}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$Q_{e.f.}^*$ (kg/q)	$Q_{\text{total}}$ /q	$Q_v/Q_{\text{total}}$ en %	$Q_G/24$ h (t)
10	40	300	310	3.2	14.9
	60	150	160	6.2	7.7
	80	100	110	9.1	5.3
20	40	600	620	3.2	29.8
	60	300	320	6.2	15.4
	80	200	220	9.1	10.6
30	40	900	930	3.2	44.6
	60	450	480	6.2	23.0
	80	300	330	9.2	15.8

\* Cf. Encadré 24

## 5. LIEU D'INSTALLATION D'UNE DISTILLERIE

Le lieu d'installation d'une distillerie doit tenir compte de plusieurs contraintes: proximité de la biomasse végétale, disponibilité de la main-d'œuvre et ressource en eau.

### 5.1. Proximité de la biomasse végétale

Pour produire une tonne d'huile essentielle courante, comme celle du romarin, il faut traiter environ 250 t de matériel végétal. Pour d'autres plantes, le rendement en huile essentielle est encore plus faible. C'est le cas, en particulier, de la tanaïse annuelle (*Tanacetum annuum* L.) du Maroc (Rendement industriel inférieur à 1 pour mille). Pour produire une tonne d'huile essentielle, il faut transporter plus de 1000 t de matériel végétal. Il faut donc tenir compte des frais de transport et de l'organisation de ce dernier. Ainsi, un rayon

de 30-40 km maximum paraît être un bon choix pour l'installation d'une distillerie. Si non l'organisation du transport et les frais qu'il occasionne risquent de devenir des facteurs prohibitifs. D'autre part, le transport sur un long trajet peut endommager le végétal surtout si ce dernier est bien feuillu et encore suffisamment humide. C'est le cas, par exemple, de la verveine ou de la menthe fraîchement coupée. Le métabolisme de la plante se poursuit après la coupe pendant une période plus ou moins longue. En effet, la charge végétale, tassée dans un camion, s'échauffe et une partie de son eau s'évapore entraînant avec elle une partie de l'huile essentielle. La chaleur produite dans la masse du végétal peut conduire à faire pourrir cette dernière.

## 5.2. Disponibilité de la main-d'œuvre

Cette contrainte est particulièrement importante pour la distillation des espèces végétales spontanées. Pour produire une tonne d'huile essentielle de romarin, par exemple, il faudrait traiter au moins 250 t de matériel végétal. Cela représente plus de 500 journées de travail rien que pour la collecte du végétal<sup>2</sup>. Au Maroc par exemple, la période de l'activité de distillation coïncide, pour un certain temps, avec une autre activité dans le milieu rural, celle de la moisson. Ces deux activités se font concurrence pour la même main-d'œuvre. Par ailleurs, la fin des moissons est souvent suivie (en été) par des festivités dans le milieu rural qui réduisent la disponibilité de main-d'œuvre réellement mobilisable.

## 5.3. Ressources en eau

Les besoins en eau d'une distillerie peuvent être évalués grâce à la relation 4 précédente (Cf. § 4):

$$Q_{e.\text{totale}} = Q_v (1 + 600/\Delta\theta)$$

L'encadré 25 donne une idée sur de tels besoins pour une distillerie traditionnelle. Ces besoins varient de 8 à 44 tonnes par 24 h suivant les technologies utilisées. La disponibilité en eau est donc un facteur très important qui oriente le choix de l'installation d'une distillerie. Plus de 90% de cette eau est consommée sous forme d'eau de refroidissement. La vapeur ne représente que 3 à 9% de la consommation globale.

<sup>2</sup> Une personne peut récolter entre 400 et 500 kg de romarin par journée de travail.

## 6. GESTION DES SOUS-PRODUITS DE LA DISTILLATION

Les sous-produits d'une distillerie de plantes aromatiques peuvent se résumer en trois catégories:

- Les sous-produits gazeux.
- Les sous-produits aqueux (eaux blanches et eaux de refroidissement).
- Les sous-produits solides (résidu de la matière végétale épuisée par la distillation).

Pour une unité moderne de distillation on doit tenir compte dans sa conception, autant que possible, de la gestion de ces sous-produits

### 6.1. Sous-produits gazeux

Pour la production de la vapeur d'eau nécessaire à l'entraînement de l'huile essentielle, plusieurs sources d'énergies sont théoriquement disponibles (*Cf.* § 3.2). Toutefois, les considérations économiques limitent souvent ces choix (*Cf.* §.3.3). La réalité sur le terrain peut réduire encore davantage les possibilités effectivement disponibles. Quand on est installé dans la campagne dans des régions plus ou moins isolées, il est souvent difficile d'envisager l'utilisation de l'énergie électrique (abstraction faite du coût). Même l'approvisionnement régulier en fuel ou en hydrocarbures gazeux peut devenir très difficile avec tout ce que cela suppose comme garanties de sécurité.

On est, ainsi, amené rapidement à l'utilisation de combustibles classiques (bois et autres matières végétales) ou peu habituels comme la combustion de pneus usés (voir § 10, Chapitre 10). Devant cette situation, il faut tenir compte des émanations gazeuses (fumées) qui résulte de l'utilisation de ce type de combustibles qui peuvent avoir des répercussions sur le milieu environnant et qui peuvent provoquer des réactions négatives chez les populations avoisinantes. Il est en particulier à proscrire, sans indulgence aucune, l'utilisation de combustibles tels que les pneus usés ou des produits similaires. Les fumées et les odeurs que ces produits dégagent ont des effets néfastes sur le milieu. Pour les biocombustibles (bois et matières végétales diverses), les fumées qui en résultent sont de loin moins préoccupantes surtout si l'entreprise est installée en dehors des agglomérations urbaines ou périurbaines.

Dans une distillerie, il y a toujours une fraction de l'huile essentielle qui s'échappe dans l'atmosphère. Cette fraction est d'autant plus importante que la technologie mise en œuvre manque de performance.

Dans certains cas, la conséquence est peu importante voire positive. L'atmosphère est plus ou moins parfumée sans effets négatifs. Dans d'autres cas, la puissance de l'odeur dans l'atmosphère est si forte qu'elle devienne réellement gênante pour les populations avoisinantes.

Une bonne gestion d'une entreprise moderne de distillation des plantes aromatiques doit tenir compte de ses échappements gazeux dans le choix du site d'installation de l'unité, de la technologie à mettre en œuvre ainsi que du combustible à utiliser pour la production d'énergie.

## **6.2. Eaux blanches**

Les eaux blanches résultent de la condensation du mélange «vapeur d'eau + huile essentielle». Le condensat, après décantation dans le vase florentin, donne, d'une part, l'huile essentielle et, d'autre part, les eaux blanches. Ces dernières contiennent toujours une fraction plus ou moins importante de l'huile essentielle. Cette fraction est constituée des composés les plus polaires (les plus oxygénés) de l'huile essentielle: esters, alcools, carbonyles, oxydes, ...

Or, ce sont généralement ces composés qui sont les plus importants dans la «formulation» de l'arôme et parfum recherchés dans l'huile essentielle considérée.

Ainsi, dans certains cas, ces eaux sont récupérées, traitées et commercialisées sous des appellations telles que «eaux aromatiques» ou «eaux florales». Deux exemples sont bien connues sur le marché marocain: l'eau de fleur d'oranger et l'eau de rose. Ces eaux sont utilisées dans diverses pratiques culinaires, cosmétiques, médicinales, ...

Dans d'autres cas, ces eaux sont recyclées dans l'alambic. C'est la cohobation. Seulement, cette pratique demande des équipements particuliers et surtout une meilleure maîtrise de la technique de

distillation. Une molécule naturelle extraite de son milieu a déjà séjourné pendant un certain temps dans les conditions physico-chimiques de l'alambic et de ses annexes éventuellement défavorables: températures, niveaux d'hydratation du milieu, de son oxygénation et de son pH. Après cohobation, ladite molécule, qui revient une deuxième fois pour séjourner dans les mêmes conditions, est sujette à des transformations chimiques diverses (hydrolyse, oxydation, polymérisation, ...). Il faut donc être sûr que la cohobation, quand elle améliore le rendement, n'affecte pas négativement les qualités organoleptiques de l'huile essentielle obtenue.

Par ailleurs, les eaux blanches sont considérées comme des eaux résiduelles rejetées directement dans la nature. Certes, ces eaux ne contiennent que des produits naturels biodégradables et ne posent pas, à la longue, des problèmes environnementaux particuliers.

Il faut, toutefois, tenir compte des répercussions immédiates que peut poser l'évacuation de ces eaux, dans la nature sans aucune précaution particulière. On ne peut se permettre, par exemple, d'évacuer cette eau directement dans un cours d'eau de faible débit. Un bassin de stockage peut aider à réduire, naturellement, la charge organique de cette eau avant de l'évacuer dans la nature ou de l'utiliser à d'autres fins.

### 6.3. Eaux de refroidissement

La quantité d'eau nécessaire à la condensation de la vapeur, qui sert à l'entraînement de l'huile essentielle, a été estimée (Cf. § 4). La gestion de cette masse d'eau pose trois problèmes:

- Il s'agit d'une masse d'eau très importante: environ une tonne d'eau par quintal de matériel végétal traité. Or, parfois la disponibilité en eau est le facteur limitant pour l'installation de ce type d'entreprise d'où la nécessité d'une meilleure gestion de cette ressource.
- Les eaux de condensation évacuent, à la sortie du condenseur, une quantité importante d'énergie thermique. Si ces eaux sont simplement évacuées dans la nature, toute l'énergie thermique qu'elles transportent constituent une perte sèche pour l'entreprise.
- Ces eaux, évacuées directement dans la nature, peuvent constituer un polluant thermique surtout lorsqu'elles sont déversées dans des cours d'eau de faible débit.

Plusieurs procédés sont utilisés pour une meilleure gestion de ce sous-produit:

- La plupart des technologies modernes utilisent les eaux de refroidissement pour alimenter la chaudière. Cette démarche permet de faire des économies sur la consommation de l'eau, de récupérer une partie de l'énergie thermique évacuée par l'eau de refroidissement et de réduire la quantité d'eau éventuellement évacuée dans la nature.
- Les eaux de refroidissement peuvent être stockées dans des bassins réservés à cet effet. Elles sont ainsi refroidies naturellement avant d'être réutilisées par l'entreprise ou évacuées dans la nature sans le moindre problème.
- Pour réduire les pertes en énergie thermique, dues à l'évacuation des eaux de condensation, certaines technologies récupèrent une partie de cette énergie grâce à des aérothermes. Ces derniers servent à chauffer l'air lequel peut être utilisé pour sécher le résidu végétal de distillation par exemple.

#### **6.4. Résidu végétal de distillation**

Pour de nombreuses espèces (thym, romarin, origan, armoise, lavande, menthe, ...), les rendements en huiles essentielles sont de l'ordre de 3 à 4 kg d'huiles essentielles par tonne de matériel végétal. Il en résulte que pour produire 1 t d'huile essentielle, il faut traiter 300 à 400 t de biomasse végétale qui laisse à la fin pratiquement le même tonnage en résidu. Cela suppose le rapprochement de cette masse végétale de l'unité industrielle, d'une part et, d'autre part, le traitement adéquat du résidu qui en découle.

La gestion de cette problématique a des conséquences directes sur le lieu d'implantation de l'entreprise.

Le résidu végétal de distillation peut être valorisé de diverses façons:

- La voie la plus simple et la plus ancienne consiste à l'utiliser comme source d'énergie pour alimenter la chaudière de production de vapeur. C'est un bon combustible dont le pouvoir calorifique est de l'ordre de 3000 kcal/kg de végétal. Il ne contient pas de silice. Le taux des cendres est très faible (moins de 2%). Son stockage est aisé. Il n'y a pas de risques particuliers et, à moins de 15% d'humidité, il n'y a pas de risque de fermentation. Toutefois, ce type de combustible pose un problème d'encombrement (Chalchat,

1993). La méthode la plus simple pour l'utilisation de ce produit comme combustible consiste à le sécher naturellement par exposition au soleil. Le produit ainsi séché est utilisé pour alimenter, manuellement, le foyer de la «chaudière». C'est une démarche techniquement peu pratique et pénible pour les ouvriers surtout lorsqu'il s'agit de végétaux riches en feuillage et brindilles. Ceci décourage souvent les distillateurs à procéder à l'utilisation de cette ressource pour la production de vapeur. Des technologies modernes (voir § 7.6; Chapitre 7) ont été mises au point pour améliorer et faciliter cette utilisation. Le résidu est d'abord séché jusqu'à 15% d'humidité environ. Le produit est ensuite broyé une deuxième fois<sup>3</sup>. Ces traitements permettent l'alimentation mécanique, régulière et continue du foyer de la chaudière avec ce biocombustible, à l'aide d'une vis sans fin.

- Le même procédé de distillation (procédé BIOLANDE) exploite le résidu de distillation pour la fabrication, par fermentation, de composts d'excellente qualité. Ces composts sont utilisés pour la fabrication de divers terreaux et amendements.
- Des études réalisées sur les résidus de distillation des rameaux de pin pour la production d'aliments composés pour le bétail ont donné des résultats encourageants (Chalchat, 1993).

## 7. CONCLUSIONS

L'étude technique, pour l'installation d'une distillerie des PAM, suppose la maîtrise de trois éléments qui sont en relations étroites les uns avec les autres: volume et capacité de charge de l'alambic, besoins en eau et besoins en vapeur.

Les équations nécessaires, pour le calcul de chacune des trois grandeurs, ont été établies.

Parmi les contraintes, liées au choix du lieu d'installation de l'unité, quatre sont particulièrement importantes à savoir, les disponibilités en biomasse végétale, en main-d'œuvre et en ressources en eau et la gestion des sous-produits (solides, liquides et gazeux) (Encadré 26).

---

<sup>3</sup> Le procédé BIOLANDE, qui a mis au point cette technologie, prévoit un premier broyage du matériel végétal avant la distillation (voir §7.6 ; Chapitre 7)

## **Encadré 26. Contraintes pour le choix du lieu d'installation d'une distillerie**

### **1. Proximité de la biomasse végétale**

Un rayon de 30 à 40 km maximum paraît être un bon choix pour le transport du végétal à la distillerie. Sinon l'organisation du transport et les frais qu'il occasionne deviennent prohibitifs. Ce facteur (transport) est particulièrement important pour les produits spontanés.

### **2. Disponibilité de la main-d'œuvre pour la récolte**

Pour la production d'une tonne d'HE classique (romarin par exemple), on a besoin de pas moins de 200 tonnes de végétal soit l'équivalent de plus de 400 Jt (journées de travail) rien que pour la récolte du végétal.

Une petite distillerie qui traite 5 t de végétal par jour, environ (Cf. Encadré 25), représentant 20 à 25 kg d'HE (cas du romarin et plantes similaires), doit disposer de l'équivalent de 12 ouvriers sur le terrain (à plein temps pour la récolte), 6 à 7 personnes au niveau de la distillerie plus le transport éventuellement. Parfois, ce facteur peut constituer une contrainte réelle pour la distillerie.

### **3. Ressources en eau**

La petite distillerie précédente consomme entre 15 et 30 t d'eau par jour (Cf. Encadré 25) voire beaucoup plus suivant les techniques mises en œuvre. Une économie d'eau peut être réalisée en procédant au stockage et recyclage des eaux de refroidissement.

### **4. Gestion des sous-produits**

Les sous-produits gazeux, liquides et solides limitent les possibilités d'installation de ce type d'unités industrielles dans les centres urbains et périurbains.

## ÉQUIPEMENTS POUR LA DISTILLATION DES PLANTES AROMATIQUES

### 1. INTRODUCTION

Le procédé de distillation des PAM, avec ses trois variantes (Chapitre 5), repose sur un ensemble de trois opérations unitaires, réalisées dans l'ordre:

- Vaporisation et entraînement des constituants «volatiles» de la biomasse végétale. Cette opération est réalisée dans un conteneur appelé alambic.
- Condensation, dans un condenseur, du mélange de vapeurs (vapeur d'eau + constituants d'HE à l'état gazeux).
- Décantation du liquide sortant du condenseur. Cette opération est réalisée dans un décanteur appelé essencier ou vase florentin.

Aussi, se propose-t-on de passer en revue ces trois composantes de base d'une distillerie (alambic, condenseur et vase florentin) ainsi que leurs organes annexes. Certaines technologies modernes de distillation des PAM sont présentées à la fin de ce chapitre.

### 2. ALAMBIC

Ce terme d'origine arabe (Al-enbic) est devenu universel. L'alambic sert de conteneur du matériel végétal et de récipient dans lequel l'eau et/ou la vapeur d'eau sont mises en contact avec la plante pour en extraire l'HE. Cet appareil ainsi que la technique de distillation, en général, ont été introduits en Europe par les Arabes, au Moyen âge, via l'Andalousie, d'une part, et les croisés, d'autre part.

#### 2.1. Formes et tailles des alambics

Le choix de la forme de l'alambic est dicté, d'une part, par la facilité de chargement et de déchargement du matériel végétal et, d'autre part, par l'efficacité de la distillation.

Compte tenu du premier facteur, presque tous les alambics sont cylindriques (Guenther, 1965; Ames & Mathews, 1968). La forme conique fonctionne, probablement, d'une manière intéressante, mais on se trouve face aux problèmes de chargement et de déchargement (Ames & Mathews, 1968). Les alambics à forme cubique ou à section rectangulaire peuvent être facilement chargés, mais il est difficile de contrôler la distribution uniforme de la vapeur.

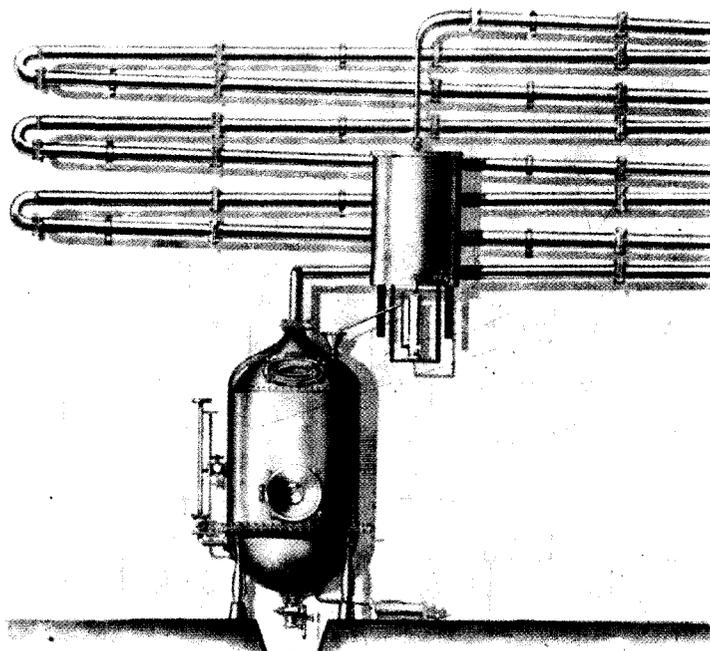
À cause du deuxième facteur (efficacité de la distillation), la hauteur de l'alambic doit être (cas de la vapo-hydrodistillation et de la vapodistillation) supérieure au diamètre. On recommande une hauteur de l'ordre de 1.5 fois le diamètre de l'alambic. Alors que pour l'hydrodistillation, le diamètre de l'alambic doit être légèrement plus grand que sa hauteur afin d'éviter l'effet de la pression dû à la hauteur de la charge (Guenther, 1965).

La taille de l'alambic dépend des facteurs économiques et de la capacité de la distillerie. Des alambics de 10 m<sup>3</sup> ont été installés en Espagne au début des années 90 pour traiter la lavande. Ils semblaient donner des résultats satisfaisants. La taille des alambics est limitée en pratique (Ames & Mathews, 1968). L'efficacité des alambics de plus de 7000 l de volume est médiocre. Des alambics de taille moyenne, 3500 à 6000 l sont utilisés dans le cas où la matière première est abondante. Ceux de capacité plus faible (600 à 1500 l), généralement transportables, sont utilisés dans le cas où la matière première est cultivée en faible tonnage dans des régions lointaines.

## 2.2. Couvercles de l'alambic

L'alambic est équipé d'un couvercle amovible recouvrant la section cylindrique. Les couvercles, les plus anciens, sont convexes et s'inclinent graduellement pour finir dans la conduite menant au condenseur (Figure 34). Ce type de couvercle est, actuellement rare. Il est remplacé par le couvercle plat. À celui-ci est soudé, en son centre, le tube de connexion entre le condenseur et l'alambic. Cette conduite doit être bien calorifugée et de courte hauteur afin d'éviter des reflux dans l'alambic. Cependant, on trouve dans la littérature des propositions d'alambics équipés de couvercle pourvu d'une colonne verticale allant jusqu'à 1 m appelée «colonne de rectification» ou colonne à reflux (Cf. Figure 27, Chapitre 5). Des essais réalisés sur ce type d'alambic pilote ont montré que la qualité de l'HE (essentiellement la couleur) est nettement affectée par ce montage. Le rendement est également réduit (voir Chapitre 8).

Il y a lieu de remarquer qu'il existe des cas où la tuyauterie reliant l'alambic au condenseur prend des formes particulières. Ainsi, dans le cas de la distillation de l'iris (rhizomes d'iris finement broyés), l'appareil de distillation -généralement de faible capacité (1000 l environ)- est équipé d'un long serpentín aérien en cuivre (100 mm de diamètre x 40 m de longueur) reliant l'alambic au condenseur (Figure 34). Ce serpentín est installé à l'extérieur sous une charpente en bois, à claire-voie. Il joue le rôle d'une colonne à reflux tout en créant par la perte de charge induite une surpression dans l'alambic. Ce serpentín est souvent remplacé par une vraie colonne à reflux. L'ensemble du montage peut être aujourd'hui remplacé par des appareils fonctionnant sous pression contrôlée (Tournaire, 2000). Un système similaire au précédent (serpentín aérien de 20 m environ) est installé au Maroc dans la distillerie de la rose dans la vallée de Dadès.



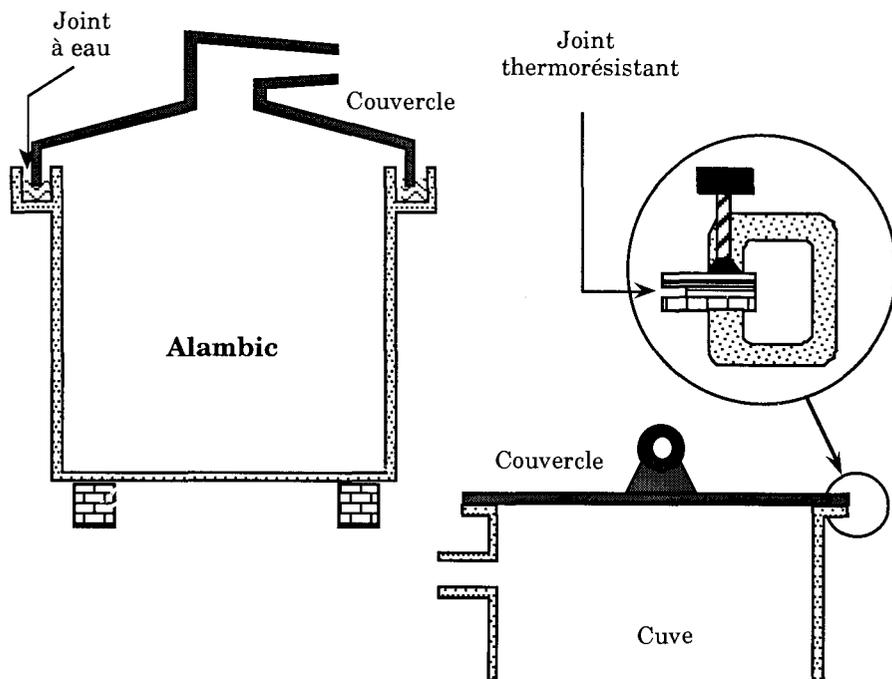
**Figure 34. Vue d'un montage de distillation d'iris équipé d'un long serpentín aérien reliant l'alambic au condenseur**  
(Tournaire, 2000; avec la permission de l'auteur)

Habituellement, le diamètre de la conduite reliant l'alambic au condensateur est fonction de la vitesse de distillation. Guenther (1965) recommande pour ces conduites les dimensions suivantes: 10 cm de diamètre et 20 cm de hauteur (au-dessus de l'alambic).

Étant donné que le couvercle est amovible, on doit assurer au système alambic-couvercle une étanchéité parfaite. Pour ce faire, deux moyens sont couramment utilisés :

- Un joint à eau (Figure 35). Une plaque de 5 à 7 cm de largeur et de 25 à 40 cm de hauteur est soudée à la partie supérieure de l'alambic et sur toute sa circonférence. L'inter espace rempli d'eau assure l'étanchéité (Ames & Mathews, 1968). Toutefois, ce système ne peut être utilisé en cas de pressions élevées de vapeur.
- Un joint plat sur lequel vient se poser le couvercle. Divers matériaux peuvent être utilisés à cette fin: joints de téflon, joints de fibres, joints de néoprène, etc. Le caoutchouc est à exclure, car il peut donner lieu à des artefacts dans l'HE. La fermeture (serrage) est assurée par des boulons (Figure 35) ou tout autre moyen.

Par ailleurs, certains professionnels utilisent des tubes souples thermorésistants remplis d'eau qu'ils placent dans une gouttière aménagée autour de la sortie de l'alambic.



**Figure 35. Formes de couvercle et exemples de systèmes d'étanchéité entre l'alambic et son couvercle**

### 2.3. Col de cygne

La vapeur qui sort de l'alambic pour aller vers le condenseur passe d'abord par une conduite de géométrie particulière dite «col de cygne». Cette partie, reliant l'alambic aux conduites menant vers le condenseur, peut être installée soit sur le couvercle, soit sur le côté latéral de l'alambic. Dans le premier cas, le col de cygne est installé au centre du couvercle. Dans le deuxième cas, il est installé sur la paroi latérale à une dizaine de centimètres du bord supérieur de l'alambic.

Le col de cygne sur le couvercle (Cf. Figures 28 et 29; Chapitre 5) est une sortie conique élargie à sa partie inférieure. Ce cône se rétrécit régulièrement pour atteindre le diamètre de la tuyauterie conduisant la vapeur chargée d'HE vers le condenseur. Normalement, le vrai col de cygne se termine sous forme d'une courbe donnant un angle de moins de 90° (Figure 36a). Cependant, cette règle n'est pas respectée dans tous les alambics qu'on retrouve en production.

Le col de cygne latéral se présente, généralement, sous forme d'un cône dont la grande base constitue la sortie de l'alambic. La partie supérieure du cône est reliée à la tuyauterie conduisant au condenseur. Dans ce type d'alambic, il est rare d'observer, cette terminaison courbée rappelant réellement le col d'oiseau (cygne) auquel on doit ce nom (Figure 36b). Les dimensions et la géométrie de col de cygne latéral peuvent se résumer comme suit. Il s'agit d'un cône dont la base inférieure, celle qui est reliée à l'alambic, est un cercle d'un diamètre de 10 cm au moins. Pour activer la distillation, on peut être amené à élargir davantage cette base. La base supérieure a le même diamètre que la tuyauterie à laquelle elle est reliée, celle qui mène au condenseur. La hauteur du cône est généralement comprise entre 15 et 20 cm.

Ces organes (cols de cygne) permettent de créer une légère pression dans l'alambic. Cette légère surpression réduit le risque d'entraînement (par la vapeur) de certains produits tensioactifs qu'on retrouve, en tête d'alambic, sous forme de mousse. Ces produits lorsqu'ils arrivent au condenseur et par la suite au vase florentin (=essencier), créent une émulsion de l'huile dans l'eau. Cette émulsion empêche la décantation et la séparation: HE / eau.



**Figure 36. Principales formes des cols de cygne dans les alambics de distillation des plantes aromatiques**

Dans le cas de la vapodistillation, on recommande, pour la conduite reliant l'alambic au condenseur, des tubes ayant un diamètre 4 à 5 fois celui de la conduite qui alimente l'alambic en vapeur. Celui-ci a généralement un diamètre allant de 0.75 à 1.5 pouce<sup>1</sup>(20.25 à 40.5 mm).

<sup>1</sup> Les extractions d'huiles essentielles. Manuel de construction et d'opération d'usines. Rapport non daté du CRIQ (Centre de Recherche Industriel du Québec). Gouvernement du Québec . Ministère de l'industrie et du commerce.

## 2.4. Isolation

L'isolation de l'alambic et, particulièrement, celle du couvercle et de la tuyauterie peut être nécessaire, surtout pour les appareils exposés à des vents et à des courants d'air. Faute d'isolation, la vapeur se condense dans l'alambic causant ainsi un mouillage excessif de la charge végétale. Il s'ensuit une augmentation de la consommation de vapeur, une prolongation de la durée de distillation et, généralement, une baisse du rendement en HE. Pour les grands alambics où une grande quantité de vapeur circule, l'isolation est obligatoire. Celle-ci englobe tout le circuit de vapeur y compris les conduites et les vannes.

Le meilleur isolant est l'amiante sous forme de brique ou de poudre. Cette dernière constitue avec l'eau, une colle dont on se sert pour l'isolation. L'épaisseur de la couche d'isolant est de 5 cm (Guenther, 1965). Malheureusement, ce produit pose des problèmes quant à son utilisation à cause de ses effets néfastes sur la santé. Plusieurs matériaux sont théoriquement utilisables. Cependant la disponibilité / non-disponibilité locale, ainsi que le prix du produit, constituent des facteurs limitatifs importants.

Les pertes de chaleur dans les tuyauteries non isolées sont fonction de plusieurs facteurs: la taille de la tuyauterie, la différence de température entre le fluide circulant dans la conduite et l'air ambiant ainsi que la vitesse de l'air. Le tableau 27 donne une estimation des pertes thermiques des conduites non isolées, alors que le tableau 28 donne l'effet de la vitesse de l'air sur les pertes thermiques.

Le choix de l'isolant se fait sur la base des critères suivants:

- les propriétés thermiques à la température d'utilisation,
- les propriétés mécaniques et notamment la résistance mécanique,
- la résistance au feu,
- la résistance à l'eau et aux autres produits chimiques,
- la disponibilité / non-disponibilité locale du produit,
- le prix,
- la législation en vigueur.

Le tableau 29 donne des exemples de matériaux d'isolation existant actuellement sur le marché marocain.

**Tableau 27. Estimation des pertes thermiques dans une conduite en acier doux (A42) non isolée\***

Diff. temp.** Vapeur-air	Pertes thermiques en fonction du diamètre de la conduite en mm									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	03	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	46	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	85	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	34	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	94	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	58	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	28	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	02	713	838	1093	1492
180	274	329	408	494	556	76	808	959	1190	1660
194	309	372	461	566	634	58	909	1080	1303	1852

Source: RCG / Hagler, Bailly, Inc. (1991)

\* Pertes de chaleur, en watt par mètre linéaire, à travers une conduite horizontale. Température ambiante comprise entre 10°C et 21°C, la vitesse de l'air étant nulle.

\*\* Diff. Temp. = Différences de températures, en °C, entre le fluide circulant dans la conduite et l'air ambiant.

Remarque: Aucune indication n'a été fournie en ce qui concerne l'épaisseur du métal de la conduite.

**Tableau 28. Effet de la vitesse de l'air sur les pertes thermiques**

Vitesse d'air en km/h	Facteurs de correction de pertes thermiques
0	1
5	1.5
10	2
14	2.5
19	3
26	3.5
34	4

Source: RCG / Hagler, Bailly, Inc. (1991)

**Tableau 29. Exemple de matériaux d'isolation disponibles sur le marché marocain**

Matériaux	Forme	Température maximale d'utilisation (°C)	Conductivité thermique (w/m <sup>2</sup> °K)
Fibre de verre	Fibre	510	0,048 (à 200°C)
Magnésium à 85%	Matelas	310	0,058 (à 200°C)
Silicate de calcium	•Matelas	650-1010	0,061 (à 200°C)
	•Matelas	650-1010	0,085 (à 600°C)
Fibre minérale	Matelas	760-950	0,05 (à 200°C)
Polyuréthane	•Matelas	980	0,063 (à 600°C)
	•Mousse rigide	100	0,024 (à 20°C)

Source: RCG / Hagler, Bailly, Inc. (1991)

## 2.5. Métal de l'alambic

Avec l'usage, le métal avec lequel est fabriqué l'alambic peut libérer certains de ses constituants. Ceux-ci peuvent avoir une influence sur la qualité de l'huile extraite, surtout sa couleur. Les premiers alambics étaient fabriqués en cuivre. Celui-ci, bien qu'il soit très malléable, son prix élevé et la dégradation de couleur qu'il provoque favorisent, actuellement, son remplacement par l'acier inoxydable (Ames & Mathiews, 1968).

La fabrication des alambics en aluminium n'est pas conseillée pour les huiles contenant des constituants à caractère acide. Pour ces huiles, il est préférable que l'alambic soit en fer galvanisé (Ames & Mathiews, 1968). Dans quelques rares pays disposant de ressources importantes d'étain, on a déjà utilisé avec succès du fer doux étamé. L'étamage doit cependant être repris fréquemment.

Des alambics en fer noir sont encore couramment utilisés dans les distilleries traditionnelles pour produire des HE de qualités ordinaires. Pour ce faire, on utilise des tôles de 2 mm d'épaisseur. Pour les alambics de grands volumes, il faut prévoir des éléments de consolidation de l'alambic installés autour de ce dernier. Ce sont des anneaux métalliques installés tous les 70 cm environ, le long de l'alambic. Quelle que soit la taille de l'alambic, il faut toujours un de ces anneaux en haut de l'appareil et un autre en bas. Pour ces anneaux on préconise généralement des largeurs de 5 cm sauf celui en haut de l'appareil qui doit être plus large (environ 7 cm) pour faciliter la fermeture de l'alambic.

## 2.6. Faux fond

Dans le cas de la vapo-hydrodistillation, il est nécessaire de prévoir dans la partie inférieure de l'alambic, un faux fond qui sépare la charge végétale de l'espace contenant l'eau pour la production de vapeur. Dans les alambics classiques, ce faux fond est installé à 60-70 cm du fond réel de l'appareil. Des hauteurs moins importantes que cela (40 à 50 cm) sont également courantes (voir Figure 71; Chapitre 10). Le faux fond est constitué d'une plaque amovible qui sert de support pour le matériel végétal. La plaque est percée de nombreux trous qui laissent passer la vapeur d'eau tout en régularisant le flux de cette dernière. Une grille métallique suffisamment solide, à mailles bien serrées, peut remplacer la plaque précédente. Les faux fonds sont généralement portés par des pieds soudés sur la paroi latérale de l'alambic.

Dans le cas de la vapodistillation, il existe une structure similaire. Pour cela, le faux fond est placé à une hauteur juste suffisante pour permettre l'installation du diffuseur de vapeur et l'entretien de ce dernier.

## 2.7. Diffuseur de vapeur

Dans les procédés de vapodistillation, il faut prévoir dans l'alambic, au-dessous du faux fond, un système de diffusion de vapeur. Ledit système doit assurer une diffusion de vapeur aussi régulière que possible sur toute la surface du faux fond. Pour ce faire, Guenther (1965) recommande pour les alambics habituels (3-5 m<sup>3</sup>) un système très simple constitué d'un tube de 2.15 cm de diamètre, disposé en croix sur un plan horizontal. Cette tuyauterie, dont les extrémités sont bouchées, est percée de trous d'un huitième de son diamètre. La disposition de ces trous doit être aussi régulière que possible sur la surface de la section de l'alambic. La somme des surfaces des trous doit être légèrement inférieure à la surface de la section du tube lui-même. Il en résulte que le nombre total des trous doit être inférieur à 64:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \Pi > n \cdot \left[\left(\frac{D}{8}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right)\right]^2 \cdot \Pi \quad n < 64$$

D= diamètre du tube du diffuseur

n = Nombre des trous sur le diffuseur

$\Pi = 3,14$

## 2.8. Alambics à grilles multiples

Certaines matières premières se prêtent mal à la distillation en charge unique, surtout lorsque l'alambic est de grande capacité. C'est le cas en particulier des matières premières plus ou moins pulvérisées et/ou qui s'agglutinent facilement rendant la circulation de la vapeur d'eau difficile: sciures de bois, certaines graines, etc. Les technologies modernes proposent, pour ce type de produits, des alambics avec des mélangeurs mécaniques qui brassent en continu le matériel végétal en distillation. Dans les alambics classiques, des solutions plus simples ont été adoptées pour ce type de situation. Il s'agit de prévoir, dans l'alambic, plusieurs grilles similaires au faux fond précédent (Cf. § 2.6). Ces grilles sont installées tous les 60 à 100 cm. Chaque grille est chargée séparément en commençant par celle qui est placée le plus loin vers le fond de l'alambic. Ces grilles amovibles sont portées par des pieds soudés à la paroi de l'alambic. Ce montage réduit l'effet nuisible du tassement du matériel végétal sur la circulation de la vapeur d'eau.

## 3. CONDENSEURS

### 3.1. Dimensionnement

Dans les installations de distillation des plantes aromatiques et médicinales, on utilise toujours dans les systèmes de condensation des échangeurs tubulaires. La longueur du tube dépend de la quantité de vapeur à condenser. La surface d'échange du condenseur peut être calculée à partir de l'équation suivante:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad [1]$$

Q : quantité de chaleur (kcal) transférée par unité de temps

A : Surface d'échange en m<sup>2</sup>

$\Delta T$  = Moyenne logarithmique des différences de températures  $\Delta\theta_a$  et  $\Delta\theta_b$

$\Delta\theta_a$  = Différence de températures, à l'entrée du condenseur, entre la phase vapeur à condenser (100°C) et l'eau de refroidissement ( $T_{e.f.e.c} = 20^\circ\text{C}$ ), soit  $\Delta\theta_a = 80$

$\Delta\theta_b$  = Différence de température entre les mêmes fluides à la fin de la condensation, soit:  $\Delta\theta_b = 100 - T_{e.f.s.c}$  ( $T_{e.f.s.c}$  = température d'eau de refroidissement à la sortie du condenseur).

La moyenne logarithmique  $\Delta T$  se calcule comme suit:

$$\Delta T = (\Delta\theta_a - \Delta\theta_b) / \text{Ln}(\Delta\theta_a / \Delta\theta_b) \quad [2]$$

Guenther (1965) suggère que, dans une première approximation, on puisse remplacer la moyenne logarithmique (relation 2) par une moyenne arithmétique:

$$\Delta T = (\Delta\theta_a + \Delta\theta_b)/2 = (2 T_{\text{vap}} - T_{\text{e.f.s.c}} - T_{\text{e.f.e.c}}) / 2 \quad [3]$$

$T_{\text{vap}}$  = température de la vapeur à l'entrée du condenseur;  $T_{\text{e.f.e.c}}$  = température d'eau de refroidissement à l'entrée du condenseur et  $T_{\text{e.f.s.c}}$  = température de cette eau à la sortie du condenseur.

U: Coefficient, en kcal/ (m<sup>2</sup> x °C x unité de temps), dépendant des conditions opératoires: débit d'écoulement du réfrigérant, débit d'écoulement de la vapeur, du métal de l'échangeur ainsi que de la géométrie de ce dernier. U peut être déterminée empiriquement .

La quantité de chaleur,  $Q_c$ , à évacuer pour condenser la vapeur (eau + HE) arrivée au condenseur a déjà été estimée (Cf. Équation [2]; Chapitre 6):

$$Q_c = Q_v \times 600$$

Connaissant  $Q_c$ ,  $\Delta T$  et U on peut déterminer (équation [1]) la surface A nécessaire pour l'échangeur du condenseur et, par la suite, la longueur du tube qui le constitue.

### 3.2. Différents types de condenseurs

Il existe sur le marché trois principaux types de condenseurs.

#### 3.2.1. Condenseur à tube en zigzag

Le condenseur à tube en zigzag est la forme la plus simple. Il consiste à disposer des tubes en zigzag (voir Figures 73 à 75; Chapitre 10). L'ensemble est plongé dans un bassin de refroidissement. Pour utiliser au mieux la capacité de refroidissement d'un tel système, le CRIQ<sup>2</sup> recommande la structure suivante:

- Le premier tiers du condenseur est constitué d'un tube de 4,5 pouces.
- Le deuxième tiers, un tube de 2,5 pouces.
- Le dernier tiers, un tube de 1,5 pouces.

<sup>2</sup> Voir note au § 2.3

Cette structure permet de compenser une partie du vide créé dans le condenseur. En effet, au fur et à mesure que la vapeur avance dans le condenseur, une partie de cette dernière se condense créant un vide relatif. Celui-ci est, en partie, compensé par la réduction du diamètre du tube. Ceci allonge la durée de séjour de la vapeur dans le condenseur et améliore l'efficacité de ce dernier.

Une légère inclinaison du condenseur facilite l'écoulement du condensat. L'estimation de la surface d'échange nécessaire pour ce type de condenseur peut être réalisée en attribuant au coefficient «U» dans l'équation [1] la valeur de 40 BTU. Pied<sup>-2</sup>. °F<sup>-1</sup> (Guenther, 1965). Cette valeur est égale à 195 kcal . m<sup>-2</sup> . °C<sup>-1</sup>. Le condenseur en zigzag a l'avantage d'être facile à réaliser et à utiliser, surtout pour les alambics mobiles installés en campagne, sur le lieu même de production végétale. Ce refroidisseur ne demande qu'un bassin de fortune recevant l'eau d'une rivière, d'un oued ou d'une source quelconque pour fonctionner. Cependant, ce système a le défaut d'être moins efficace que les autres condenseurs. Il est, par ailleurs, difficile à nettoyer quand il est constitué d'une seule pièce (ou plusieurs pièces soudées entre elles) ce qui est souvent le cas sur le terrain. Or, ce nettoyage est important quand on veut changer de plantes (Encadré 27).

#### Encadré 27. Dimensionnement d'un condenseur à tube en zigzag

Soit une distillerie traditionnelle fonctionnant en vapohydrodistillation et utilisant un alambic à feu nu de 3 m<sup>3</sup> de volume.

1. Quantité d'eau blanche produite par charge (par alambic): 100 à 120 kg
2. Durée de distillation: 3 h. Cela donne un débit moyen de vapeur de 36.7 kg/h
3. La distillerie est équipée d'un condenseur à tube en zigzag plongé dans un bassin «dynamique». L'eau de refroidissement y rentre à 20°C et sort à une température T<sub>e.f.s.c</sub>
4. On calcule la quantité de chaleur, Q<sub>c</sub> (en kcal/h), à évacuer par le condenseur:

$$Q_c = Q_v \cdot 600 \text{ (relation [2]; chapitre 6) } = 36.7 \cdot 600 = 22.000,00 \text{ kcal/h}$$

5. Surface d'échange du condenseur, S:

$$Q_c = U \cdot S \cdot \Delta T \text{ (équation [1]) ou } S = Q_c \cdot U^{-1} \cdot \Delta T^{-1} \quad [4]$$

$$S = 22.000,00 / (195 \cdot \Delta T) = 112,8/\Delta T$$

D'après la relation 2 et les données de cet encadré, on a :

$$\Delta T = \{80 - (100 - T_{e.f.s.c})\} / \text{Ln} (80/(80 - T_{e.f.s.c})) = (T_{e.f.s.c} - 20) / \text{Ln} (80/(80 - T_{e.f.s.c}))$$

La longueur du tube,  $l = S/\pi \cdot D$ . Cette longueur est, donc, fonction de l'efficacité du condenseur ( $T_{e.f.s.c}$ ) et du diamètre du tube (D), le débit de vapeur étant fixé ( $Q_v = 36.7 \text{ kg/h}$ ).

6. Des exemples de ce calcul sont portés dans le tableau suivant

D {Pouce (") et mm}	$T_{e.f.s.c}$ (°C) <sup>1</sup>								
	40			60			80		
	$\Delta T$	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	$\Delta T$	S (m <sup>2</sup> )	L (m)	$\Delta T$	S (m <sup>2</sup> )	L (m)
3"									
76.2 mm	69.5	1.62	6.77	57.7	1.96	8.19	43.3	2.60	10.87
2"									
50.4 mm	69.5	1.62	10.24	57.7	1.96	12.38	43.3	2.60	16.43
1.5"									
38.1 mm	69.5	1.62	13.54	57.7	1.96	16.38	43.3	2.60	21.7
Mixte									
3"-2"-1.5"	69.5	1.67	3" (3m) 2" (3m) 1.5" (4m)	57.7	1.99	3" (3m) 2" (5m) 1.5" (4m)	43.3	2.62	3" (4m) 2" (6m) 1.5" (6m)
$Q_{e.f.}$ (kg/h) <sup>2</sup>	1100			500			367		

<sup>1</sup>: Cf. Encadré 24 pour le choix de ces températures;

<sup>2</sup>:  $Q_{e.f.}$  est calculée d'après la relation 3 (Chapitre 6)

$Q_{e.f.} = Q_v \cdot 600 / (T_{e.f.s.c} - 20)$ , soit dans notre cas:  $Q_{e.f.} = 22000 / (T_{e.f.s.c} - 20)$

## 7. Conclusions

En augmentant la capacité (surface) d'échange, on peut faire des économies importantes sur la consommation d'eau de refroidissement. Tout dépend de la disponibilité en eau.

Techniquement, le choix du diamètre du tube du condenseur ne dépend que du coût et de la disponibilité du matériel.

Toutefois, à la sortie de l'alambic, il faut prévoir des tubes suffisamment larges pour éviter une surpression excessive dans l'appareil. Guenther (1965) recommande, pour un débit de vapeur de 700 lb (317 kg) un tube de 4 pouces. Les débits étant proportionnels à la surface des sections des tubes, on peut déterminer, pour chaque débit, le diamètre minimum qu'il faut choisir.

Dans notre exemple (36.7 kg de vapeur /h), un tube de 2 ou même 1.5 pouces, à la sortie de l'alambic, est largement suffisant.

### 3.2.2. Condenseurs à tube en forme d'hélice

Pour des quantités de vapeur élevées, les condenseurs à tubes en zigzag deviennent trop longs. Les condenseurs à tube en forme de spire sont conçus pour résoudre ce problème. Ces condenseurs peuvent être horizontaux (Figure 37a) ou verticaux (Figure 37b).

Pour plus d'efficacité, certains condenseurs de ce type sont constitués de plusieurs spirales, généralement 2 à 3, logées l'une dans l'autre (Figure 37c). L'ensemble est plongé dans un récipient cylindrique où circule l'eau de refroidissement. Pour ce type de refroidisseur, le CRIQ recommande des tubes de 2,5 pouces de diamètre<sup>3</sup>.

### 3.2.3. Condenseurs à tubes parallèles

Le condenseur est formé d'une série de tubes logés dans un grand cylindre dans lequel l'eau circule à contre-courant de l'écoulement de la vapeur. Le condenseur à tubes parallèles horizontaux, le plus simple, est formé de 4 tubes de 5 cm de diamètre et 120 cm de longueur. Ces tubes sont placés obliquement à l'intérieur du cylindre de façon à permettre un écoulement rapide du condensat (Figure 37d). Les condenseurs tubulaires ou à tubes multiples verticaux (Figure 37e) constituent une autre forme des condenseurs à tubes parallèles.

On estime le coefficient «U» de l'équation [1] pour les condenseurs tubulaires à:

$$200 \text{ BTU} \cdot \text{pied}^{-1} \cdot \text{°K}^{-1} \text{ (Guenther, 1965)}$$

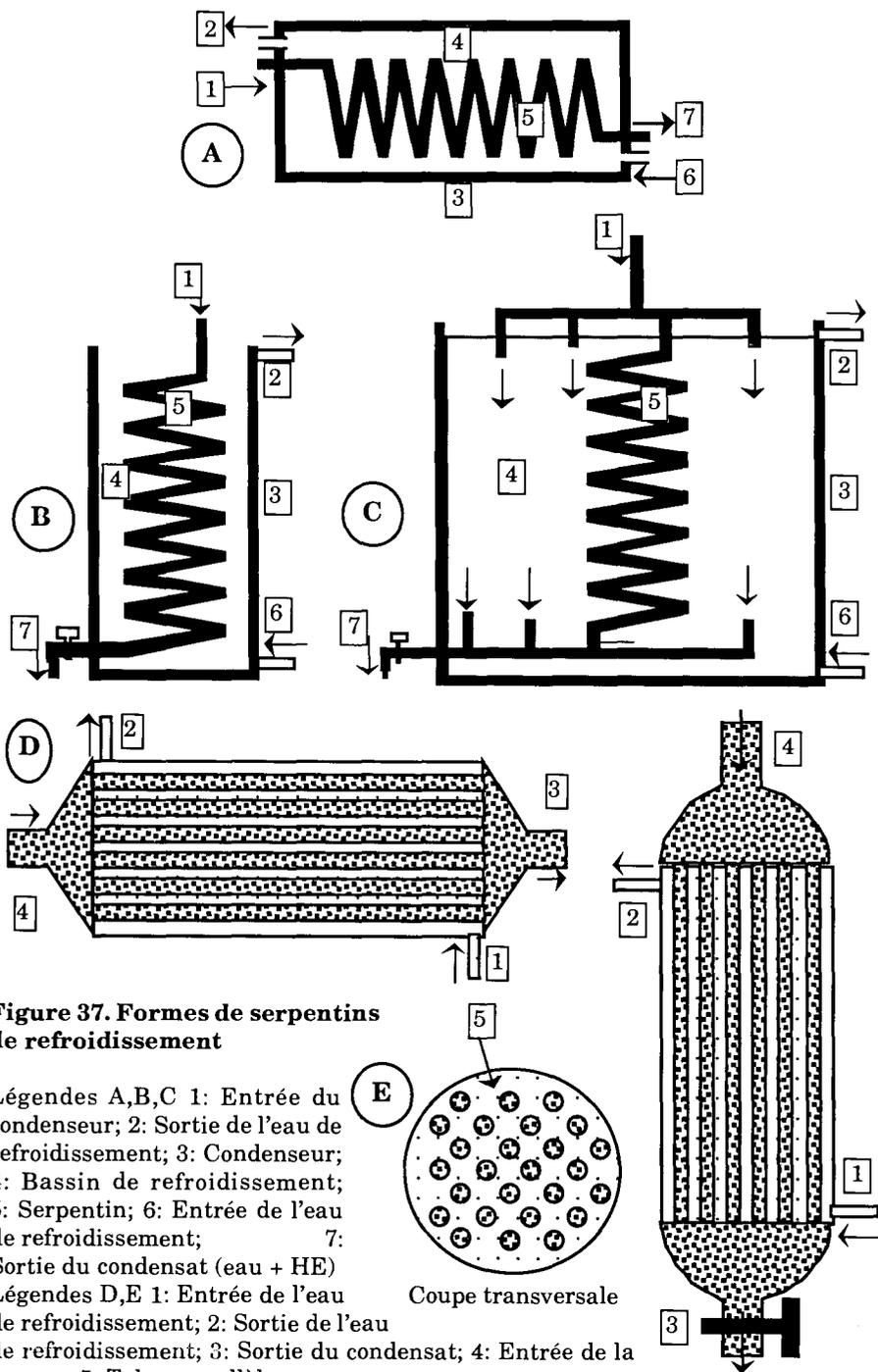
ou

$$U = 975 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}.$$

Comparativement aux condenseurs à tubes en zigzag, les condenseurs à tubes parallèles multiples permettent une économie importante sur la surface d'échange et donc sur la longueur des tubes.

Ainsi, pour une même quantité de vapeur à condenser et une même différence de température  $\Delta T$ , les surfaces d'échange sont cinq fois plus faibles que dans le cas des condenseurs à tubes en zigzag (Encadré 28).

<sup>3</sup> Voir note au § 2.3



**Encadré 28. Efficacités comparées des condenseurs**

## 1. Considérons deux condenseurs

- Un condenseur classique, simple à tube horizontal, en zigzag, comme décrit dans l'encadré 27 et figures 73, 74 et 76. La surface d'échange,  $S_z$ , est déterminée par la relation suivante:

$$S_z = Q_c / (U_z \cdot \Delta\theta_z)$$

- Un condenseur à tubes parallèles vertical (Figure 37). L'eau de refroidissement circule, de bas en haut, à contre-courant de la vapeur. La surface d'échange nécessaire pour ce condenseur peut être calculée de la même façon:

$$S_p = Q_c / (U_p \cdot \Delta\theta_p)$$

Les indices p et z renvoient, respectivement, aux condenseurs à tubes parallèles et en zigzag.

2. Pour une même quantité de chaleur  $Q_c$  à évacuer, par condensation, on a:

$$U_z \cdot S_z \cdot \Delta\theta_z = U_p \cdot S_p \cdot \Delta\theta_p$$

ou

$$(U_p/U_z) \cdot (S_p/S_z) \cdot \Delta\theta_p/\Delta\theta_z = 1$$

$$(U_p/U_z) = 200/40 = 5$$

$$\Delta\theta_p = 43 \text{ et } \Delta\theta_z = 70^\circ\text{C environ (Cf. Encadré 27)}$$

$$\text{d'où: } \Delta\theta_p/\Delta\theta_z = 43/70$$

On obtient ainsi:

$$S_p/S_z = 1/5 \cdot (70/43) = 0.33$$

## 3. Conclusion

Pour un même débit de vapeur, la surface d'échange nécessaire pour un condenseur traditionnel (tube en zigzag) est trois fois supérieure à celle d'un condenseur à tubes parallèles vertical. La surface d'échange,  $S$ , étant proportionnelle à la longueur du tube, celle-ci est réduite dans les mêmes proportions.

**3.3. Métal du condenseur**

En principe, les HE ne doivent jamais être en contact avec du fer ou du cuivre, car ces métaux risquent de colorer l'huile. Seul l'étain pur et l'acier inoxydable peuvent être utilisés. Cependant, les condenseurs en aluminium sont employés pour la condensation des HE ne contenant pas de phénols (Guenther, 1965).

## 4. ESSENCIER

Troisième partie importante de l'équipement d'une distillerie, l'essencier a généralement une forme cylindrique ou rectangulaire (Guenther, 1965). Les séparateurs diffèrent par les positions relatives des deux tubes d'évacuation: tube d'évacuation des eaux blanches, d'un côté, et tube de récupération de l'HE, de l'autre.

### 4.1. Différents types de séparateurs

À la sortie du condenseur, les deux liquides non miscibles arrivent dans le séparateur où ils se séparent par décantation statique basée sur leur différence de densité. Selon la densité moyenne des constituants de l'huile extraite, on distingue trois cas de figures:

- La densité moyenne de l'huile est inférieure à celle de l'eau. La phase lipidique flotte à la surface de l'eau (Figure 38a). C'est le cas le plus général.
- La densité moyenne de l'huile est supérieure à celle de l'eau (Figure 38b). La phase huileuse décante au fond du séparateur et l'eau est continuellement éliminée à la partie supérieure.
- La phase huileuse est formée de deux parties qui diffèrent par leur densité. L'une a une densité supérieure à celle de l'eau, l'autre une densité inférieure (Figure 38c). C'est le cas des huiles contenant de l'apiol et/ou de la myristicine.

Suivant les cas, l'HE est récupérée soit par le bas, soit par le haut, soit aux niveaux supérieur et inférieur à la fois.

Le séparateur doit être assez grand pour permettre la séparation complète de l'huile et de l'eau surtout lorsque les densités sont voisines. Dans le cas où les densités sont très voisines, un léger chauffage du mélange huile-eau est conseillé. L'augmentation de température contribue à élargir l'écart de densité et favorise, ainsi, la séparation.

L'écoulement du condensat dans le séparateur ne doit pas provoquer une agitation du liquide entraînant, ainsi, la création d'une émulsion de gouttelettes d'huiles dans l'eau. Ces gouttelettes décantent difficilement et s'éliminent avec l'eau. En outre, l'utilisation de deux séparateurs successifs n'est pas à exclure. Ce mode de séparation est employé pour minimiser les pertes des huiles dans l'eau. Ces

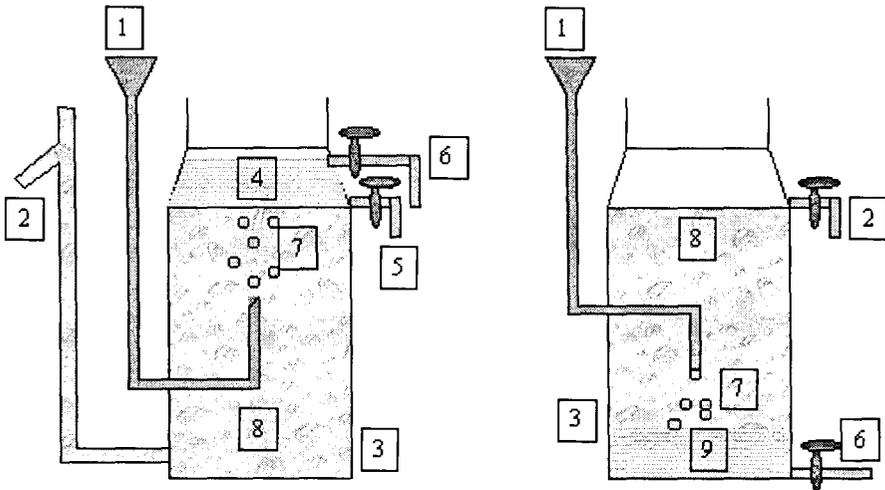
pertes dépendent du degré de solubilité et de la densité des constituants formant l'huile. Les constituants les plus susceptibles d'être perdus sont les composés oxygénés, plus solubles dans l'eau.

On trouve dans la littérature des propositions pour résoudre certains problèmes particuliers liés à la condensation du mélange de vapeurs «eau + HE». Pour améliorer la séparation de l'HE décantant en surface, il a été suggéré d'ajouter du chlorure de sodium à l'eau pour en augmenter sa densité. Ceci augmente, par conséquent, la différence de densités entre l'eau et l'huile. Cette pratique pourrait même permettre de recueillir à la surface de l'eau une huile dont la densité est plus grande que celle de l'eau pure. Cependant, ces propositions ne sont pas toujours faciles à mettre en œuvre et leur efficacité n'est pas toujours garantie.

Dans le cas des huiles contenant la myristicine ou l'apiole, chacune des deux phases absorbe une part non négligeable de l'autre phase. On observe alors un va-et-vient constant de gouttelettes d'huile entre la phase supérieure et la phase inférieure. Ce mouvement se traduit par une phase intermédiaire aqueuse blanchâtre qui est, en fait, une émulsion de fines particules d'huile dans l'eau. Le rejet de cette phase entraîne la perte d'huile. Il semble que l'augmentation de la température dans l'essencier est de nature à minimiser ce problème (cas du vétyver).

#### **4.2. Métal du séparateur**

Les séparateurs de petite taille peuvent être en verre, et ceux de grande taille (environ 15 litres et plus) en métal. Les séparateurs en étain pur sont très coûteux. Ils sont actuellement remplacés par les séparateurs en cuivre étamé. À moindre degré, on trouve les séparateurs en acier inoxydable et en aluminium. Au Maroc, les séparateurs en fer galvanisé sont très courants chez les distillateurs traditionnels. Les séparateurs en plomb ne doivent jamais être utilisés pour la séparation des HE contenant des acides gras libres car ces derniers forment des sels de plomb connus pour leur grande toxicité. Le caoutchouc, étant partiellement soluble dans les HE, donne à l'huile une odeur répréhensible. Ainsi l'utilisation des tubes et des bouchons en caoutchouc n'est guère autorisée.



a: Cas de l'huile moins dense que l'eau

Légende:

1. Entrée du condensat;
2. Sortie des eaux blanches (niveau réglable);
3. Corps de l'essencier;
4. Huile moins dense que l'eau;
5. Sortie de l'huile peu propre;
6. Sortie de l'huile propre;
7. Gouttelettes d'huile;
8. Eau du condensat.

b: Cas de l'huile plus dense que l'eau

Légende: voir a

9. Huile plus dense que l'eau.

c: Cas de l'huile ayant deux fractions:

- une plus dense que l'eau,
- et une moins dense que l'eau

Légende: voir a & b

10. Cloison

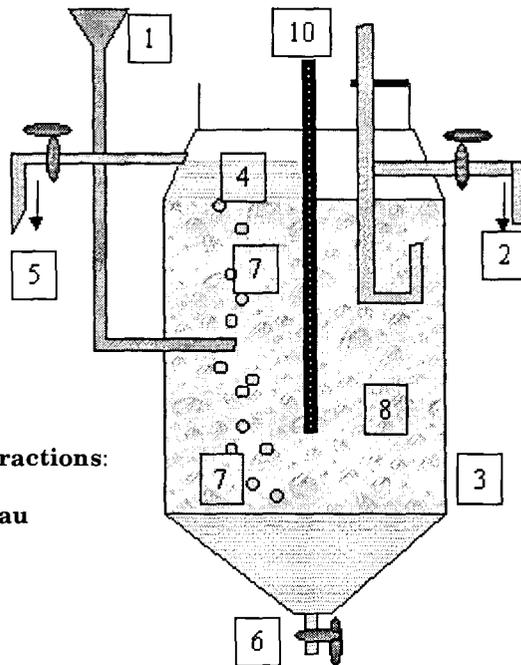


Figure 38. Exemples d'essenciers pour la séparation (par décantation) de l'HE

## 5. SYSTÈME DE COHOBATION

Lors de la décantation de l'HE dans le vase florentin ou séparateur, il y a toujours une fraction de l'essence, plus ou moins importante, qui passe dans l'eau. La solubilité dans l'eau n'est pas nulle pour tous les constituants de l'HE. Souvent, les constituants les plus nobles d'une HE sont des constituants relativement polaires: alcools, carbonyles, acétates etc. Or, ce sont précisément ces composés qui sont les plus solubles dans l'eau. Ils sont, donc, plus facilement éliminés dans les eaux de distillation. Dans certains cas, ces eaux sont récupérées et commercialisées sous l'appellation «eaux florales». C'est le cas de l'eau de rose et de l'eau de fleurs de bigaradier (oranger amer) bien connues. Parfois, pour réduire les pertes par dissolution d'une fraction de l'HE dans les eaux de condensation (eaux blanches), on procède par cohobation. Il s'agit de recycler les eaux blanches dans l'alambic au fur et à mesure qu'elles sont produites. La figure 32 (Cf. Chapitre 6) présente un schéma de montage pouvant être utilisé à cette fin. En jouant sur la position (en hauteur) de l'essencier par rapport à l'alambic, on peut faire en sorte que l'eau qui sort de l'essencier revient automatiquement dans l'alambic. Toutefois, ce montage n'est valable que dans le cas de distillation à basse pression. Pour une distillation sous pression, il faut prévoir un bac tampon et une pompe pour le recyclage des eaux blanches dans l'alambic.

Certes, la cohobation permet d'améliorer les rendements en HE et, peut-être, même la qualité organoleptique du produit obtenu. Cependant, le fait de recycler en continu les eaux blanches peut soumettre certains constituants de l'HE à des températures de 100°C et plus, pendant plusieurs cycles de distillation. Cela peut affecter des molécules thermolabiles conduisant ainsi à un arôme de brûlé, par exemple, dans le produit fini. Ce risque est particulièrement possible dans le cas de la distillation par chauffage direct (alambic à feu nu).

## 6. STOCKAGE

En production industrielle, l'HE doit être stockée à l'abri de la lumière dans des conteneurs inertes vis-à-vis des constituants de l'HE. Les conteneurs en plastique ou matériaux similaires sont à proscrire. Au Maroc, on utilise essentiellement des fûts de 200 l, en acier ordinaire galvanisé de l'intérieur. Ce type de conteneur a

l'avantage d'être toujours disponible, facile à manipuler, relativement bon marché et ne semble pas poser de problème quant à la qualité de l'HE.

Le stockage doit être réalisé dans un hangar, en pénombre, à une température comprise entre 15 et 25°C. La disposition des fûts doit laisser suffisamment d'espaces pour la circulation libre de l'air. Il est strictement interdit de fumer ou d'allumer une flamme quelconque dans l'aire du stockage des HE. Quand cela est nécessaire, la lumière à l'intérieur de l'aire de stockage peut être obtenue à l'aide de lampes électriques ou des torches à piles.

D'une façon générale, les HE stockées dans de bonnes conditions peuvent y rester pendant plusieurs années. Toutefois, des essences riches en constituants, qui cristallisent facilement comme le camphre ou le bornéol, ne peuvent être stockées pendant plus de deux ans. Sinon, ces constituants cristallisent et on n'a aucun moyen pratique qui permet de les remettre en solution dans le reste de l'HE. La masse cristallisée est souvent une perte nette pour le propriétaire. D'autre part, l'HE qui en résulte, après élimination de la masse cristalline, présente une composition différente de celle de la même essence à la production.

Le stockage de l'HE à l'échelle industrielle pose un autre problème, celui de la standardisation de la qualité de la production annuelle. Les professionnels bien informés, n'écoulent jamais leur stock, fût par fût au hasard ou suivant un ordre quelconque (ordre de date de production par exemple). En effet, quand on distille une espèce végétale donnée, l'opération de production (distillation) peut prendre plusieurs mois par an. C'est en particulier le cas de la distillation des espèces spontanées (romarin, thym, armoise, ...). D'autre part, cette exploitation peut s'étendre sur des milliers d'hectares. Or, en règle générale, la qualité de l'HE (composition chimique et qualités olfactives et organoleptiques) change avec la période de production. Elle change également avec le stade végétatif de la plante à la cueillette ainsi qu'avec le milieu de production. Il en résulte qu'une production de 20 t d'HE de romarin réalisée durant l'année, représente plus de 100 fûts de 200 l chacun. Ces 100 fûts peuvent différer les uns des autres par les caractéristiques intrinsèques des HE qu'ils contiennent. En effet, les HE ont été produites à des périodes différentes de l'année, dans des milieux différents, etc.

Dans ces conditions, quand on propose un échantillon commercial à un client éventuel, on ne lui propose pas 100 échantillons différents (1 par fût). On ne doit pas non plus courir le risque de considérer un fût comme représentatif de l'ensemble. Sinon on risque de décevoir le client le jour de la livraison (livraison non conforme à l'échantillon commercial). Pour résoudre ce problème, les professionnels avertis fournissent les échantillons sous forme de «communelle» de l'année. Il s'agit d'un échantillon moyen de toute la production de l'année. Pour ce faire, on prélève un même volume de chaque fût pour constituer la «communelle» de laquelle seront prélevés tous les échantillons commerciaux. Le client doit être assuré qu'à la livraison, il recevra un produit parfaitement conforme à l'échantillon commercial et non pas à un fût.

La meilleure démarche pour résoudre ce problème consiste à stocker la production de l'année dans différents fûts fixés en lignes (en un ou plusieurs niveaux), en hauteur sur une charpente métallique par exemple. Chaque fût est muni, dans sa partie inférieure, d'une conduite permettant de le vider au travers d'un système de mesure des volumes. Les conduites sortant de chaque fût sont réunies dans un collecteur commun qui permet de remplir les fûts d'expédition.

Ainsi, lorsqu'on veut préparer un fût de 200 l de la communelle de l'année, il suffit de prélever 2 l de chacun des 100 fûts en stockage. L'opération est simple et précise: il suffit d'ouvrir, pour chaque fût, le robinet qui alimente le système de mesure de volume puis on évacue vers le collecteur commun et le fût d'expédition.

Cette forme d'organisation de l'aire de stockage permet d'écouler toute la production de l'année de manière standardisée quant à la qualité du produit. Malheureusement tous les professionnels ne sont pas toujours organisés de la sorte. Certes, cette forme d'organisation a un coût, mais elle permet de rationaliser le travail, de fidéliser la clientèle en garantissant une homogénéité de toutes les livraisons de l'année.

## **7. QUELQUES ÉQUIPEMENTS MODERNES POUR LA DISTILLATION DES PAM**

Les techniques d'entraînement à la vapeur d'eau dont les équipements utilisés ont été décrits précédemment (*Cf.* § 2, 3 et 4)

sont très anciennes et ont montré leurs limites depuis longtemps. On trouve aujourd'hui sur le marché des procédés plus récents et plus efficaces, mais malheureusement beaucoup plus chers.

### 7.1. Distillation à «bain-marie»

Ce procédé a été mis sur le marché par la société Eysseric ainsi que par la société Tournaire, toutes deux sociétés françaises. L'unité à «bain-marie» basse pression comporte une cuve de distillation, placée dans un bain-marie. Il s'agit de deux cuves concentriques. Celle de l'intérieur représente l'alambic où s'effectue le chargement du matériel végétal et sa distillation. Celle de l'extérieur, servant de générateur de vapeur et donc remplie d'eau à ébullition, sert en même temps de bain-marie à la première (Figure 39).

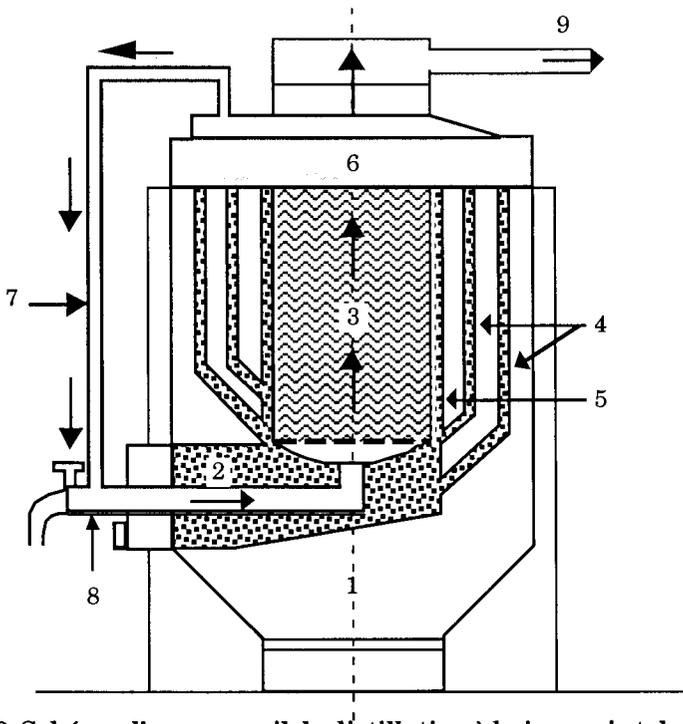
Le chauffage utilisé pour ce type d'appareil est généralement un brûleur à gaz ou un chauffage électrique. Des adaptations utilisant le matériel végétal épuisé comme source d'énergie ont également été proposées pour la même technologie. Le foyer de combustion peut être installé sous l'alambic directement (Figure 39) ou en position latérale par rapport à ce dernier (Figure 40).

Une installation utilisant ce dernier modèle a été mise en service en Espagne, depuis la fin des années 80 (Muñoz, 1987). Un appareil de même type a été installé par EYSSERIC dans la région de Settat au Maroc. Cette distillerie était prévue pour traiter la menthe verte (*Mentha viridis*), mais elle est utilisée pour divers produits.

La durée d'extraction est généralement réduite avec ce mode de distillation. Une opération complète de distillation dure une heure, pour une distillerie simple avec une seule cuve, alors qu'on réalise trois opérations complètes toutes les deux heures pour une distillerie double, soit deux cuves.

La contenance en matière végétale pour un alambic dépend du type de plantes. Pour un alambic de 1000 litres, cette capacité est de:

- 200 à 250 kg de matériel végétal dans le cas de la lavande, la sauge, le romarin, le thym,...
- 300 à 350 kg de plantes pour le géranium, la menthe,...



**Figure 39. Schéma d'un appareil de distillation à bain-marie tel que décrit par le constructeur**

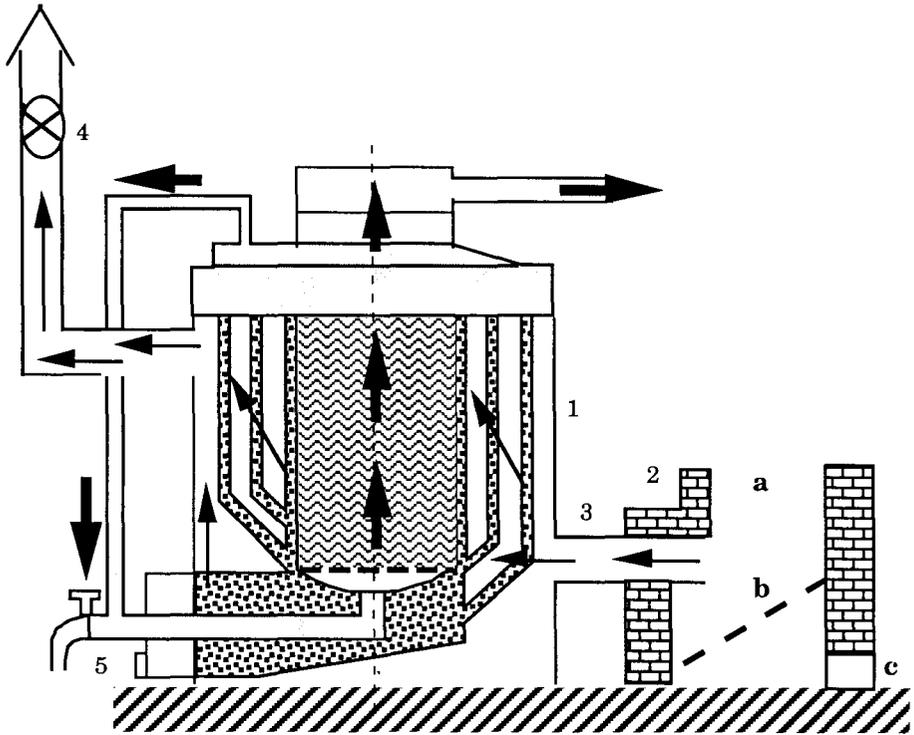
(D'après Tournaire, 2000)

Légende:

1: Foyer; 2: Eau dans la partie inférieure de la «chaudière» pour la production de vapeur; 3: Cuve de distillation contenant la charge végétale; 4: Ensemble de tubes disposés en deux cercles concentriques remplis d'eau pour la production de vapeur; 5: Enveloppe entourant la cuve de distillation. L'espace entre cette enveloppe et la cuve de distillation, remplie d'eau en ébullition, constitue le bain-marie pour cette dernière. Les trois espaces 2, 4 et 5 remplies d'eau sont en communication entre elles. 6: Accumulation de la vapeur produite dans l'ensemble de la «chaudière» (éléments 2, 4 et 5 précédents); 7: Conduite de la vapeur vers la cuve de la distillation; 8: Suite de la conduite précédente servant également à l'évacuation des eaux de purge et de lavage de la cuve; 9: Évacuation de la vapeur chargée d'huile essentielle vers le condenseur. ->: Sens de circulation de la vapeur au cours de la distillation

Parmi les points forts de ce procédé:

- (i) l'appareil ne demande pas une chaudière séparée, mais il a tous les avantages d'une vapodistillation,
- (ii) l'alambic est toujours et partout à 100°C; il n'y a jamais de risque de surchauffe et
- (iii) la condensation de la vapeur produisant de l'eau liquide, au fond de l'alambic, est réduite au minimum.



**Figure 40. Schéma d'un alambic à bain-marie avec un foyer latéral, utilisant la biomasse végétale comme source d'énergie**

Schéma réalisé d'après les descriptions du constructeur (Tournaire, 2000) et de Muñoz (1987)

Légende:

1: Alambic à bain-marie (Cf. Figure précédente); 2: Foyer latéral en briques réfractaires utilisant la combustion de la biomasse végétale épuisée comme source d'énergie avec a: entrée pour l'alimentation du foyer en combustible, b: grille métallique séparant la biomasse végétale des cendres et c: entrée d'air et accès pour le nettoyage du foyer; 3: Conduite des flammes et gaz de combustion chauds; 4: Cheminée à sortie réglable; 5: Purge de la chaudière.

→ : Circulation des gaz de combustion du foyer vers la chaudière et la cheminée. → : Circulation de la vapeur d'eau

## 7.2. Extracteur HDF

Ce procédé dit «distillation par hydrodiffusion» (HDF) comme l'appelle le constructeur est breveté et commercialisé par la société AGRAROMES (SUISSE).

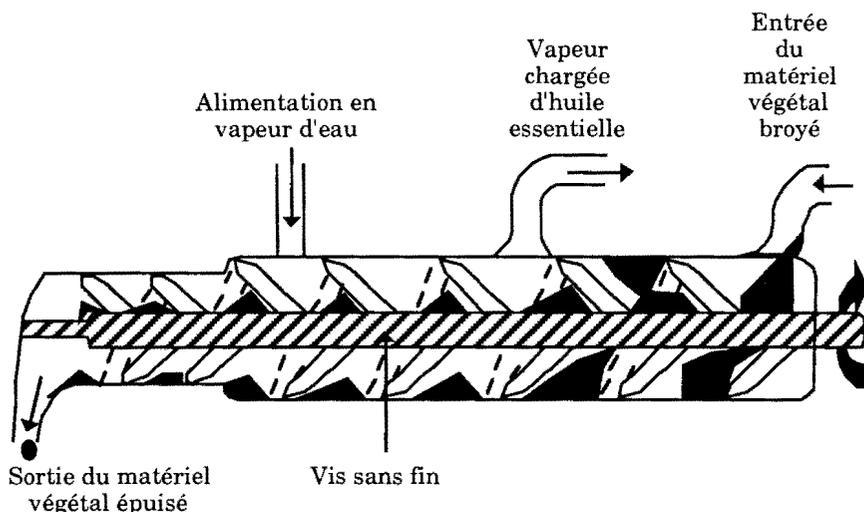
Classiquement, la production des HE est basée sur un principe de distillation où la matière végétale est soumise à un courant de vapeur la traversant de bas en haut. Dans le nouvel extracteur (HDF), la vapeur traverse le végétal de haut en bas. La matière végétale est placée dans un «panier» jouant le rôle d'alambic. Dans la partie supérieure du panier est installé un système de diffusion de la vapeur. Le condenseur est placé au-dessous dudit panier. Sous l'effet de la basse température au niveau du condenseur (par comparaison à la température de la vapeur dans l'alambic), la vapeur est aspirée vers le bas. Sur son passage, elle lessive le végétal et entraîne avec elle les constituants volatils.

Le concept de cet appareil de distillation exploite logiquement l'action osmotique de la vapeur d'eau qui libère, sous forme azéotropique, l'HE contenue dans les cellules végétales: c'est l'hydrodiffusion. On obtient, en réalité, un produit de caractéristiques particulières pour lequel le constructeur de l'appareil préconise des utilisations particulières. Il s'agit en fait d'un élargissement de la gamme de produits aromatiques extraits des plantes à HE. La durée de distillation peut être réduite à 20 minutes, voire moins.

D'après le constructeur, le procédé HDF apporte des avantages majeurs qui se traduisent en économie de temps, de vapeur, d'eau et d'énergie, ainsi qu'en amélioration qualitative de l'huile extraite.

### **7.3. Turbodistillation**

Ce procédé est commercialisé par la société AROMA PROCESS (France). Le matériel végétal est, d'abord, broyé avec un puissant dispositif de broyage humide. Le matériel végétal ainsi broyé est entraîné en continu, grâce à un tapis roulant vers l'enceinte d'entraînement à la vapeur d'eau. Dans celle-ci, le matériel végétal est entraîné à l'aide d'une vis sans fin. La vapeur produite par le générateur de vapeur arrive dans l'enceinte d'extraction d'HE en contre-courant avec le matériel végétal. Celui-ci étant broyé forme, à l'entrée de l'enceinte, un bouchon suffisamment compact pour empêcher l'échappement de la vapeur chargée d'HE de ce côté. Cette dernière est collectée dans une conduite menant au système de réfrigération (Figure 41). C'est un système qui travaille en continu.



**Figure 41. Schéma de principe d'un «turbo-distillateur»**

Schéma réalisé d'après le manuel du constructeur (procédé Aromaprocess)

Ce système produit, d'après le constructeur, quatre fois plus d'HE à l'heure qu'un alambic classique de même capacité. La consommation de vapeur, par kilogramme d'huile produite, est réduite de moitié. Le constructeur souligne, pour ce montage, d'autres caractéristiques particulières :

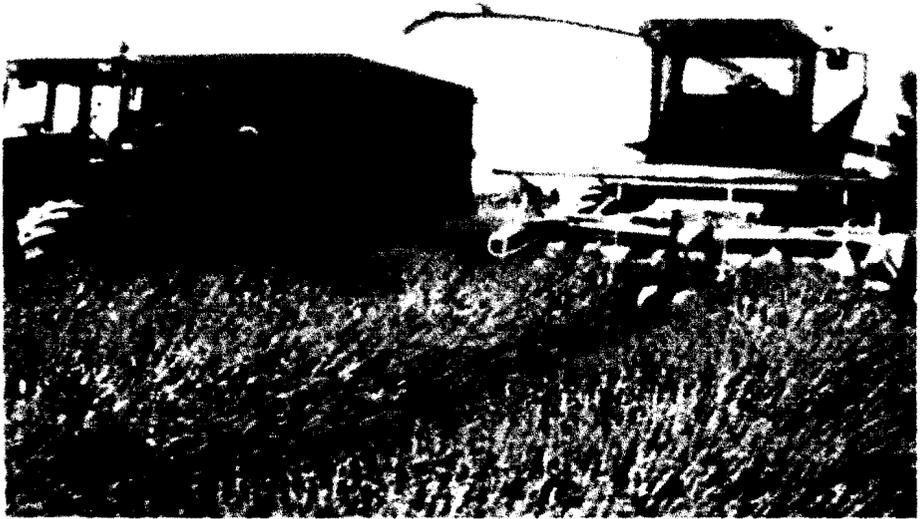
- La décantation est réalisée à température contrôlée.
- Il est possible de récupérer des fractions aromatiques aqueuses concentrées.
- Il est possible de récupérer la chaleur de condensation.
- L'opération de distillation est plus rapide.

Chalchat (1993) rapporte que cette technologie est particulièrement adaptée aux matières premières dont la distillation est très longue et coûteuse en énergie et main-d'œuvre. Elle conviendrait ainsi à la distillation des graines (anis, badiane, fenouil, carotte, coriandre, etc.), des fruits (clémentine) et des racines (livèche et angélic).

#### **7.4. Bennes mobiles à distiller ou «Containers»**

Ce type d'équipement a été mis en exploitation au Nord-Ouest des États-Unis d'Amérique (dans les États d'Oregon et de Washington en particulier) au cours des années cinquante. Il a été essentiellement réservé à la distillation des menthes. Ce matériel a été, par la suite, généralisé partout dans le monde, dans les grandes exploitations de menthe, lavande, lavandin, etc.

Dans ce montage, l'alambic est de forme cubique ou parallélépipédique en acier ordinaire et ce sont des alambics de grande capacité (20 à 30 m<sup>3</sup> de volume utile). Ledit alambic est équipé pour être tracté par un tracteur qui le déplace entre la distillerie et le lieu de la récolte de la matière première. Sur l'exploitation, le container est couplé à une moissonneuse adaptée à la plante à couper. Le matériel végétal coupé et haché est transféré directement au container entièrement ouvert par le haut (Figure 42).



**Figure 42. Récolte pour une distillation dans un alambic en container sur champ de lavandin (Tournaire, 2000, avec la permission de l'auteur)**

Dans la distillerie, le container est d'abord hermétiquement fermé à l'aide d'un couvercle approprié (Figure 43). L'alambic est ensuite connecté à une source de vapeur de très grand débit (de l'ordre d'une tonne par heure). Installé à la base du container, un système de diffusion de la vapeur permet de répartir cette dernière, de la manière la plus régulière possible, sur toute la charge du matériel végétal qu'elle traverse de bas en haut. La distillation dure 60 à 90 min.

Au retour sur le champ d'exploitation et grâce à un système de benne et d'ouverture arrière totale du container, celui-ci déverse son contenu en masse végétale épuisée. Cette dernière est répandue sur le sol pour servir d'amendement en vue des prochaines cultures. Après son nettoyage, le container peut être utilisé pour une nouvelle opération: coupe-chargement, transport vers la distillerie, distillation, transport de la biomasse épuisée vers les champs, ...



**Figure 43. Alambic de distillation en container parallélépipédique à la distillerie (Tournaire, 2000, avec la permission de l'auteur)**  
 A: couvercle levé; B: Caisson fermé pour la distillation

Il est bon de remarquer que ce type d'équipement est bien indiqué pour des cultures en grandes surfaces (plusieurs dizaines d'hectares voire des centaines d'hectares), bien desservies en voies d'accès pour des grands engins. Il peut être alors économiquement justifié (économie en main-d'œuvre, meilleure qualité du produit, grande capacité de traitement, facilité de gestion des sous-produits et protection de l'environnement, ...).

Avec ce type de technologie, les rendements en HE ainsi que les consommations en vapeur (par kg d'HE produite) sont comparables à la distillation dans un appareil statique (Chalchat, 1993). Par contre, la durée de distillation est plus longue. Elle est pratiquement le double par rapport à une distillation statique classique.

### **7.5. Alambic agité**

Dans ce type d'appareillage, la matière première est constamment brassée durant toute l'opération de distillation. Un tel procédé est particulièrement recommandé pour la distillation des produits réduits en poudres plus ou moins fines. C'est le cas de l'iris et des sciures de bois. Il en est de même pour la distillation des graines ou des gommés. Les alambics agités peuvent travailler à la pression atmosphérique ou sous pression. L'agitation permet non seulement de faciliter et d'homogénéiser la circulation de la vapeur à travers la masse végétale, mais peut avoir d'autres effets positifs. Elle permettrait une désorganisation de la structure du tissu végétal facilitant ainsi l'accès de la vapeur aux cellules à HE. L'agitation est généralement assurée par des agitateurs type ancre ou à l'aide d'une turbine.

### **7.6. Distillation en continu**

Des systèmes de distillation de plantes aromatiques en continu auraient été développés et exploités en URSS avant les années 80, mais on manquait de données sur cette technologie (Boucard & Serth, 1991). Plus récemment, des procédés similaires ont été mis au point et exploités dans d'autres pays. Les deux exemples suivants présentent cette nouvelle technologie de distillation de plantes.

#### **7.6.1. Procédé Aromaprocess**

Le procédé décrit précédemment (Cf. § 7.3) est déjà un exemple de distillation en continu. Des montages industriels utilisant plusieurs modules similaires à celui de la figure 37, montés en série, l'un au-dessus de l'autre, sont utilisés pour la production de diverses HE.

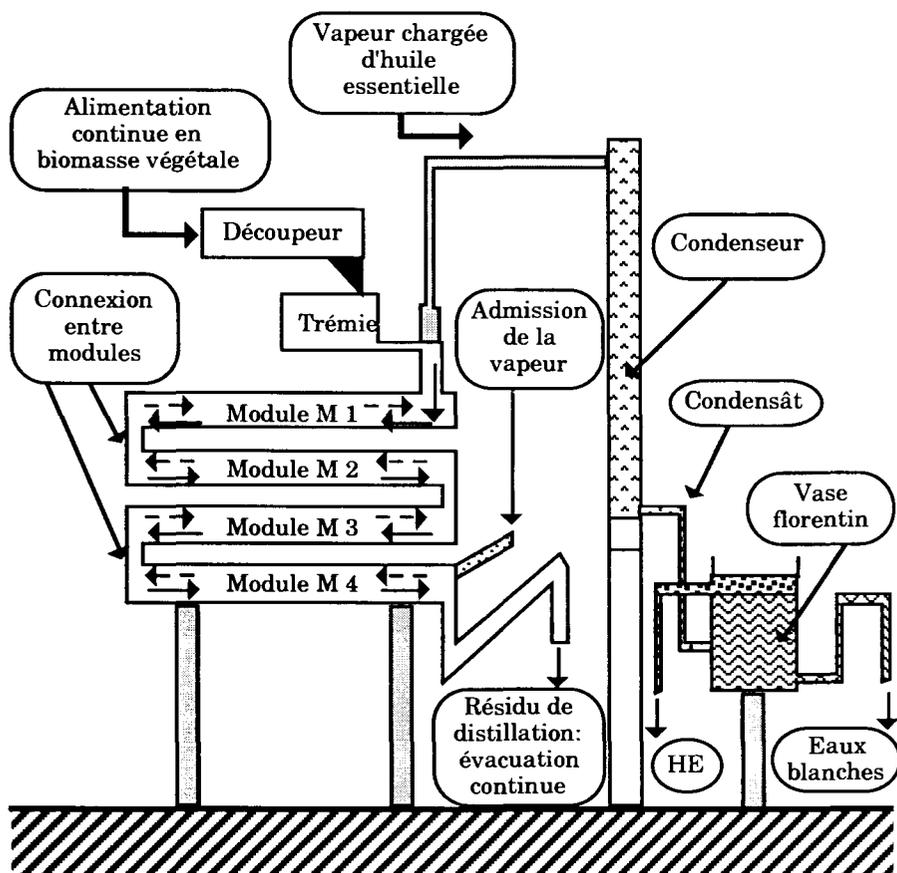
La figure 44 représente un schéma de principe de fonctionnement d'une telle installation.

Un découpeur suffisamment puissant découpe le matériel végétal qu'il reçoit en continu à l'aide d'une vis sans fin. Le même découpeur alimente en continu une trémie. Cette dernière évacue sa charge, toujours en continu, vers le premier module du turbodistillateur. À l'intérieur de ce dernier, une vis sans fin installée dans l'axe de l'appareil, fait avancer la charge végétale le long de ce dernier. Au bout du premier module, une connexion permet d'évacuer (toujours en continu) la charge végétale vers le deuxième module. L'opération se poursuit de la même façon jusqu'à la sortie du quatrième module. À ce niveau, le résidu de distillation est évacué vers l'extérieur. Toutes ces opérations (transport de matières entre unités de l'installation) sont assurées par des vis sans fins. Un broyage efficace et bien étudié de la matière première à l'entrée de l'unité facilite ce transport.

La vapeur, admise au niveau de la sortie du résidu végétal à l'extrémité du quatrième module, circule en sens inverse de celui de la charge à distiller, à savoir, du quatrième module vers le troisième puis le deuxième et enfin le premier. La vapeur chargée d'HE quitte le module n°1 au niveau de la trémie d'alimentation (Figure 44) pour aller vers le condenseur. Chaque module a une longueur de 5 m. Les avantages de cette technologie ont déjà été soulignés (Cf. § 7.3).

### **7.6.2. Procédé Biolande**

Ce procédé est entièrement automatique. La figure 45 schématise le fonctionnement d'un tel montage de distillation qui comporte deux alambics fonctionnant en parallèle. Pendant que l'un est en distillation, l'autre est en chargement/déchargement. Les deux opérations de chargement et déchargement sont réalisées de façon concomitante. Le résidu de distillation est soutiré par le fond de l'alambic. En même temps, celui-ci est rempli automatiquement, par le haut et en continu, avec de la matière végétale fraîche broyée (brins de 2 à 2,5 cm de longueur) prête à la distillation. Une fois l'opération de chargement/déchargement terminée, la distillation est mise en route. Le deuxième alambic est alors connecté automatiquement à la phase de chargement/déchargement. Bien que l'opération de distillation proprement dite soit réalisée en statique, globalement la chaîne fonctionne en continu. La matière végétale circule en continu depuis la trémie d'alimentation jusqu'à l'évacuation du résidu. L'ensemble du procédé est géré par un système informatique adapté.



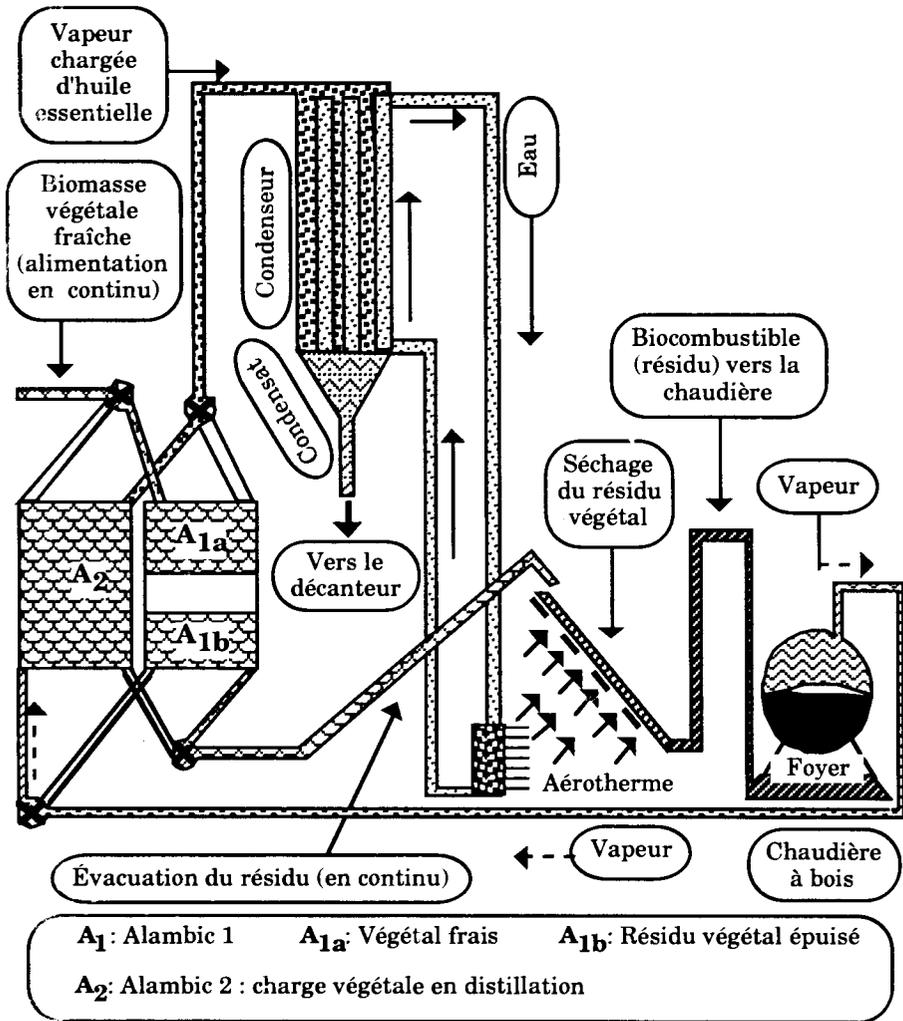
**Figure 44. Schéma d'un montage de distillation en continu**

Schéma réalisé d'après le manuel de présentation du constructeur, la société Aromaprocess

Les quatre modules M1, M2, M3 et M4 ont chacun la même structure que celle qui est représentée dans la figure 41

- - - ► : Sens de circulation de la vapeur d'eau servant à l'entraînement de l'huile essentielle

—► : Sens de circulation, en continu, de la charge végétale soumise à la distillation



**Figure 45. Schéma de distillation en continu selon le procédé Biolande**  
**Schéma de synthèse de la description donnée par Chalchat**  
**(1993)**

Ce procédé revendique d'autres innovations technologiques très intéressantes:

- Une bonne partie de l'énergie thermique évacuée pour la condensation de vapeur «eau + HE» est récupérée. Pour ce faire, on utilise un aérotherm avec une capacité d'échange suffisante pour chauffer l'air. Celui-ci est utilisé pour sécher le résidu de distillation qui devient un excellent combustible alimentant le foyer à bois de la chaudière de la distillerie.
- Le résidu de distillation non consommé comme source d'énergie pour alimenter la chaudière, peut être utilisé pour la production de compost de très bonne qualité. Un procédé de fermentation de ces résidus a été mis au point par la même société Biolande.

Cette technologie serait adaptée à de nombreux végétaux comme l'estragon, le basilic, le romarin, la menthe, le thym, divers conifères, l'eucalyptus, le ciste, les sciures de bois, etc. (Chalchat, 1993).

## 8. CONCLUSIONS

Pour installer une unité industrielle de distillation des PAM, on peut soit faire construire ses propres équipements, soit acquérir des installations «clés en main». Tout est question de moyens et de calcul de rentabilité.

Pour la conception des équipements, les données techniques nécessaires viennent d'être passées en revue depuis l'alambic jusqu'à l'aire de stockage du produit fini (HE) en passant par les condenseurs, décanteurs et d'autres équipements annexes.

Ces données complètent celles qui sont relatives au dimensionnement des différents équipements (Chapitre 6).

L'ensemble de ces éléments peut constituer une bonne base de calcul et de conception pour la réalisation de l'unité industrielle recherchée.

Des exemples d'unités industrielles modernes, disponibles sur le marché «clés en main», ont été décrits dans ce chapitre. Chacune a sa particularité. Le calcul économique est souvent un élément décisif pour le choix d'une option donnée.

Cependant, quelle que soient la qualité des installations et la précision des calculs pour leur dimensionnement, divers facteurs peuvent affecter leurs efficacités (Chapitre 8).

## PRINCIPAUX FACTEURS AFFECTANT LA DISTILLATION DES PAM

### 1. INTRODUCTION

Pour réussir une opération de distillation des plantes aromatiques et médicinales, il faut, comme dans n'importe quelle opération de génie industriel agroalimentaire, être capable de maîtriser les différents paramètres qui la conditionnent. En effet, plusieurs facteurs agissent sur le résultat final, aussi bien quantitatif que qualitatif, de cette opération. On peut classer ces facteurs en trois catégories:

- Facteurs liés à l'équipement utilisé pour la distillation.
- Facteurs liés à la matière première.
- Facteurs liés au procédé de distillation.

### 2. FACTEURS LIÉS À LA CONCEPTION DE L'ÉQUIPEMENT

Parmi les facteurs pouvant affecter l'efficacité de la distillation, on peut citer les effets de la colonne de rectification et de calorifugeage de l'équipement utilisé.

#### 2.1. Effet de la colonne de rectification

Certains appareils de distillation des plantes aromatiques sont conçus avec une colonne plus ou moins longue qui surmonte l'alambic. On l'appelle colonne de rectification. Elle est montée verticalement sur l'alambic entre ce dernier et la sortie vers la conduite menant au condenseur (Cf. Figure 32; Chapitre 6).

Grâce à cet appareil, on a étudié l'effet de la colonne sur le rendement en HE et sur les caractéristiques visuelles (couleur) du produit obtenu (Tableau 30).

**Tableau 30. Effet de la colonne de rectification sur le rendement (en % de matière sèche) et la couleur (absorbance à 450 nm) de l'HE d'*E. camaldulensis* Dehn**

Essai n°	Couleur: absorbance mesurée à 450 nm		Rendements en HE (% MS)	
	Avec colonne	Sans colonne	Avec colonne	Sans colonne
1	0.37	0.28	1.34	0.98
2	0.39	0.29	1.12	0.99
3	0.43	0.32	0.69	1.00
4	0.44	0.33	0.70	1.01
Moyennes	0.41	0.31	0.95	1.00

L'analyse statistique à une précision de 5% montre que la colonne de rectification a un effet significatif sur la couleur de l'HE obtenue. La présence de la colonne de rectification augmente la couleur de l'huile réduisant donc la qualité commerciale du produit. Par contre, la même analyse ne montre pas d'effet de la colonne sur le rendement en HE. La composition chimique de l'HE telle que déterminée par chromatographie en phase gazeuse n'est pas affectée par la présence ou l'absence de la colonne de rectification (Slama, 1994).

Le montage d'une colonne de rectification sur un alambic de distillation des plantes aromatiques n'affecte, donc, ni le rendement, ni la composition chimique de l'HE, mais peut porter préjudice aux qualités commerciales (couleur) du produit. C'est le cas en particulier de la distillation des brindilles feuillues d'*E. camaldulensis* Dehn. Cette colonne constituerait une barrière freinant le passage des constituants de l'HE vers le condensateur. Les pertes thermiques à travers la paroi de la colonne entraîneraient une condensation partielle de la vapeur au niveau de celle-ci. Ces condensats sont évaporés une deuxième fois au niveau de l'alambic avant d'être, à nouveau entraînés vers la colonne et ainsi de suite. Ce phénomène d'évaporation, entraînement, condensation, puis une deuxième évaporation... expliquerait une exposition plus longue des molécules constitutives de l'HE, déjà extraites de leur réservoir naturel (cellules sécrétrices, poches à essence,...), à des températures au moins égales à 100°C. Dans ces conditions, des transformations chimiques minimales (oxydation, polymérisation..) non détectables par les analyses chromatographiques classiques se produiraient donnant lieu à l'apparition de couleur néfaste pour la qualité commerciale du produit. La reprise de cette HE colorée par hydrodistillation (dans

un appareil de Clevenger par exemple) élimine totalement cette couleur. Ceci laisse supposer qu'il s'agit bien, pour les substances responsables de cette couleur brun-marron, de produits relativement lourds (polymères) difficilement entraînaibles à la vapeur d'eau ou des produits d'oxydation plus solubles dans l'eau que les molécules mères.

Il faut, cependant, se garder de généraliser ce résultat à tous les cas de figures. Pour certaines matières premières, riches en produits moussants par exemple, la colonne de rectification peut jouer un rôle très utile pour empêcher la mousse de passer dans le condenseur. L'arrivée de cette mousse dans le condenseur crée une émulsion rendant impossible la décantation de l'HE. Pour d'autres matières premières, cette colonne de plusieurs mètres, prenant une forme très particulière (Cf. Chapitre 7), est obligatoire. C'est le cas en particulier de la distillation de la rose et des racines d'iris.

En conséquence, il n'y a nullement lieu de généraliser soit dans un sens soit dans l'autre. La colonne de rectification peut être utile (exemple: matière végétale produisant beaucoup de mousses), peut être obligatoire (exemples: racines d'iris, rose) mais peut être absolument déconseillée (exemple: eucalyptus). Tout dépend de la plante à traiter. Son intérêt doit donc être discuté et évalué cas par cas.

## **2.2. Effet du calorifugeage de l'appareil de distillation**

Dans la littérature, on trouve des indications sur l'utilité de calorifuger les appareils (alambics et conduites en amont du condenseur) pour limiter les pertes thermiques (Cf. § 2.4, Chapitre 7) sans plus de précisions quant à l'effet sur les performances de la distillation comme le rendement et la qualité de l'HE. Grâce à un appareil pilote fonctionnant en vapo-hydrodistillation, Mettali (1994) a tenté d'évaluer l'effet du calorifugeage sur le rendement en HE, la couleur de cette dernière et sur sa composition chimique.

### **2.2.1. Effet du calorifugeage sur le rendement en HE**

L'appareil pilote de la figure 31 (Chapitre 6), avec et sans calorifugeage, a été utilisé pour distiller des brindilles feuillues d'*E. camaldulensis* Dehn. Trois débits de vapeur (puissances de chauffages) différents ont été testés (Mettali, 1994). Le tableau 31 résume les résultats obtenus.

**Tableau 31. Effet du calorifugeage de l'appareil de distillation sur le rendement en HE (% MS) pour une durée de distillation de 50 min (Mettali, 1994)**

Puissance de chauffage	Consommation de vapeur (en kg par distillation)*	.....Rendements en HE.....		
		Sans calorifugeage	Avec calorifugeage	Différence en %
1	1.9	0.81	0.68	-16
2	2.7	0.97	0.92	-5.1
3	5.4	0.73	0.63	-13.7

\* Les consommations de vapeur pour les différentes puissances de chauffage ont été estimées par la production des eaux blanches en absence de calorifugeage.  
NB.

1. Le chauffage est réalisé avec du gaz butane. Les différents niveaux (1, 2, 3) sont obtenus en agissant sur le débit du gaz à l'entrée du brûleur.
2. Les différents niveaux de chauffage sont estimés par la quantité d'eau blanche produite qui représente la quantité de vapeur consommée.
3. Différence en % = «gain» sur le rendement, exprimé en %, dû au calorifugeage.
4. Chaque donnée est une moyenne de trois déterminations

Ce tableau montre que le calorifugeage de l'alambic réduit légèrement les rendements en HE. Cette diminution semble varier avec le débit de vapeur

### 2.2.2. Effet du calorifugeage de l'appareil sur la couleur de l'HE

La couleur de l'HE obtenue avec ou sans calorifugeage de l'alambic a été évaluée par la mesure de l'absorbance à 450 nm comme le montre le tableau 32 (Mettali, 1994).

**Tableau 32. Effet du calorifugeage de l'alambic sur la couleur (absorbance à 450 nm) de l'HE d'*E. camaldulensis* Dehn. Durée de distillation: 50 min (Mettali, 1994)**

Niveaux de puissance de chauffage	.....Absorbance à 450 nm.....		
	Sans calorifugeage	Avec calorifugeage	Différence en %
1	0.51	0.77	51
2	0.75	1.02	33
3	0.87	1.05	22

NB.

1. Les notes du tableau 31 restent valables pour ce tableau
2. Chaque donnée est une moyenne de trois déterminations
3. Les absorbances de plus de 0.8 ont été mesurées après dilution dans de l'hexane et multiplication des résultats par le facteur de dilution

Le tableau 32 montre que, globalement, le calorifugeage accentue la coloration de l'HE d'eucalyptus. Il augmente donc la dégradation thermique de certains constituants de cette HE (Cf. § 2.1) affectant ainsi la qualité commerciale du produit. La détérioration de la couleur de l'HE est d'autant plus faible que la puissance de chauffage et, donc, le débit de vapeur sont élevés.

Autrement dit, l'augmentation du débit de vapeur d'entraînement réduit le risque de dégradation. Ceci serait dû à la réduction du temps de séjour des molécules constitutives de l'HE (après leur extraction de leur milieu «naturel»: cellules sécrétrices, poches à essence, ...) dans l'alambic et les conduites chauffés et calorifugés.

### **2.2.3. Effet du calorifugeage de l'appareil sur la composition chimique de l'HE**

Le calorifugeage de l'appareillage de distillation n'a pas d'effet sur la composition chimique de l'HE d'*E. camaldulensis*, telle qu'elle est décrite par la chromatographie en phase gazeuse analytique (Mettali, 1994)

Il semble, ainsi, que le calorifugeage des alambics peut, en dehors des gains évidents qu'il procure quant à la consommation énergétique, réduire, même légèrement, les rendements en HE sans affecter sa composition chimique. Mais le fait le plus important est que le calorifugeage peut affecter négativement les qualités visuelles (couleur) et probablement olfactives du produit obtenu comme dans le cas de la distillation d'eucalyptus.

Ces deux caractéristiques (couleurs et parfum) sont fondamentales dans la définition de la qualité commerciale des HE. Il serait donc utile de calorifuger les alambics sauf quand il y a apparition d'une coloration anormale (brun-marron) dans l'HE qui doit, normalement, être limpide et incolore.

Dans ce cas, il y a lieu de recommander d'éviter le calorifugeage de l'alambic par quelque méthode que ce soit. Dans les distilleries traditionnelles, le calorifugeage le plus simple peut être réalisé en enterrant, dans le sol, une bonne partie de l'alambic.

### 3. FACTEURS LIÉS AUX PROCÉDÉS DE DISTILLATION

#### 3.1. Choix du procédé de distillation

L'entraînement à la vapeur d'eau (ou la distillation des plantes aromatiques) peut se faire selon trois procédés distincts (Cf. § 3.3; Chapitre 5). Les phénomènes physico-chimiques qui se produisent lors de l'opération de distillation sont fonction du procédé utilisé. Ces mêmes phénomènes peuvent affecter, positivement ou négativement, les rendements en HE et la qualité commerciale de cette dernière. Ils constituent ainsi, sur le plan pratique, une donnée fondamentale parmi les éléments qui orientent le choix vers un mode de distillation ou un autre (Tableau 33). Les problèmes du coût de l'équipement ainsi que les difficultés de son montage et de sa conduite technique sont d'autres facteurs qui contribuent également à ce choix.

**Tableau 33. Conditions pratiques de distillation**

Avantages et limites des différents procédés de distillation  
D'après Guenther (1965)

---

#### Type d'alambic

- A. Distillation à l'eau ou «hydrodistillation»: simple, de faible coût, portable, peut être facilement installé dans les régions de production de la biomasse végétale
  - B. Distillation à l'eau et à la vapeur ou «vapo-hydrodistillation»: pratiquement pas plus compliqué ni plus coûteux que A; ce type d'appareillage et surtout ceux de capacité moyenne (500 à 700 kg m.v/charge) sont aussi mobiles et peuvent être installés dans le champ
  - C. Distillation à la vapeur directe ou «Vapo-distillation»: sont généralement de grandes dimensions, recommandés pour augmenter la capacité de distillation.
- 

#### Type du matériel végétal

- A. Indiqué pour certains types de matériel végétal: les fleurs. N'est pas adapté pour les matériels végétaux contenant des composés saponifiables, hydrosolubles ou des constituants à points d'ébullition relativement élevés.
  - B. Convient bien pour la distillation des plantes entières et les feuillages.
  - C. Convenant pour n'importe quelle charge à l'exception du matériel finement broyé. Il est particulièrement indiqué pour le matériel contenant des HE exigeant des températures relativement élevées (>100°C) pour leur entraînement.
- 

#### Mode de chargement

- A. Le matériel végétal doit être complètement couvert par l'eau.
  - B. Le matériel végétal doit être chargé à l'intérieur de l'alambic, de la manière la plus homogène possible, pour éviter des chemins préférentiels à la vapeur.
  - C. Même chose que B.
-

**Tableau 33. Conditions pratiques de distillation (suite & fin)**

---

**Conditions de diffusion**

- A.** Bonne, si le matériel est proprement chargé et s'il se déplace librement dans l'eau bouillante.
  - B.** Bonne.
  - C.** Bonne, si la vapeur est légèrement mouillée.
- 

**Pression de vapeur dans l'alambic**

- A.** Toujours autour d'une atmosphère.
  - B.** Même chose que A
  - C.** Peut être modifiée selon la nature du matériel végétal.
- 

**Température dans l'alambic**

- A.** Autour de 100°C. Cette température diminue avec l'altitude (elle peut atteindre 93°C à 2500 m d'altitude par exemple). Attention de ne pas brûler la plante par contact direct du végétal avec la paroi de l'alambic surchauffée.
  - B.** Autour de 100°C. Mêmes remarques que dans A. Le risque d'existence de points de surchauffe est plus grand que dans A
  - C.** Peut être modifiée (vapeur saturée ou surchauffée) suivant la nature du matériel végétal..
- 

**Vitesse de distillation**

- A.** Relativement faible
  - B.** Assez bonne
  - C.** Elevée
- 

**Hydrolyse des constituants d'HE**

- A.** Condition toujours non favorable. La vitesse d'hydrolyse des esters est élevée.
  - B.** Le problème d'hydrolyse est amélioré par la séparation du matériel végétal de l'eau.
  - C.** Bonne condition. L'hydrolyse est toujours faible.
- 

**Rendement en HE**

- A.** Relativement faible, dans la plupart des cas, à cause des réactions d'hydrolyse et des pertes par solubilisation dans l'eau.
  - B.** Bon, s'il n'y a pas une mouillabilité excessive de la plante.
  - C.** Bon, si le matériel végétal est proprement broyé et chargé et que la distillation est régulièrement conduite.
- 

**Qualité de l'HE**

- A.** Dépend des conditions de l'opération de distillation
  - B.** Toujours bonne
  - C.** Bonne, si l'opération est proprement conduite.
-

### 3.2. Durée de distillation

#### 3.2.1. Rendement en HE

Le rendement en HE dépend évidemment de la durée de distillation (entre autres). Plusieurs études ont été réalisées sur différentes espèces végétales. Les résultats obtenus montrent que la cinétique d'extraction des huiles (Figure 46) peut être assimilée à une cinétique de premier ordre (Djerrari & Crouzet, 1997; Taoussi, 1992; Slama, 1994, Mettali, 1994, Greche, 1999). Selon cette loi, la cinétique d'entraînement de l'HE par la vapeur d'eau peut s'écrire:

$$dx/dt = k.x \quad [1]$$

$x$  = quantité d'HE récupérable encore disponible dans le matériel végétal à l'instant  $t$ ,

$dx/dt$  = quantité d'HE extractible par unité de temps à l'instant  $t$ . C'est la vitesse d'extraction à cet instant.  $K$ = constante

L'intégration de l'équation [1] donne:

$$\text{Ln } x = kt + A \quad [2]$$

À l'instant  $t = 0$ ,  $x = X$  = quantité maximale d'HE susceptible d'être extraite à partir de la masse végétale traitée = quantité extractible avec une durée de distillation très longue, théoriquement jusqu'à ce que la plante soit totalement épuisée; d'où:

$$\text{Ln } X = A \quad \text{ou} \quad \text{Ln } x = k.t + \text{Ln } X \quad [2]$$

ou encore:

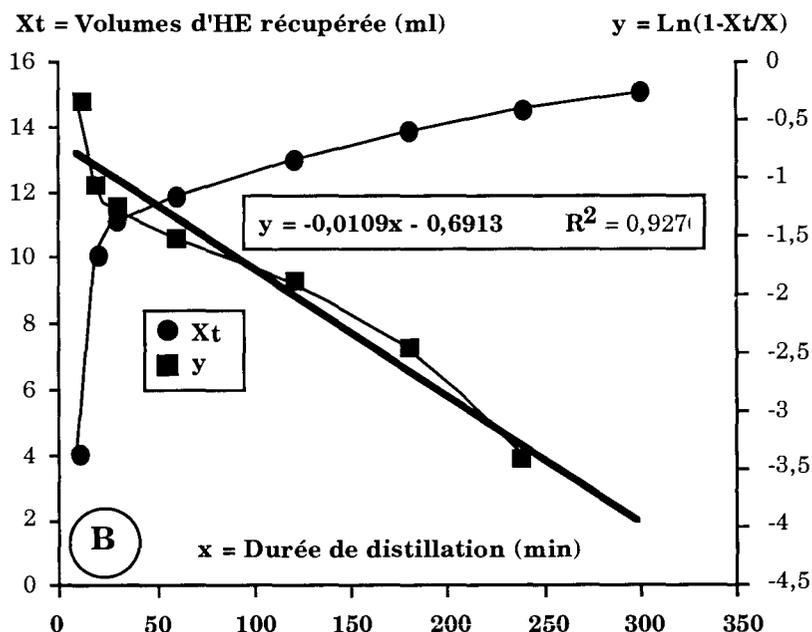
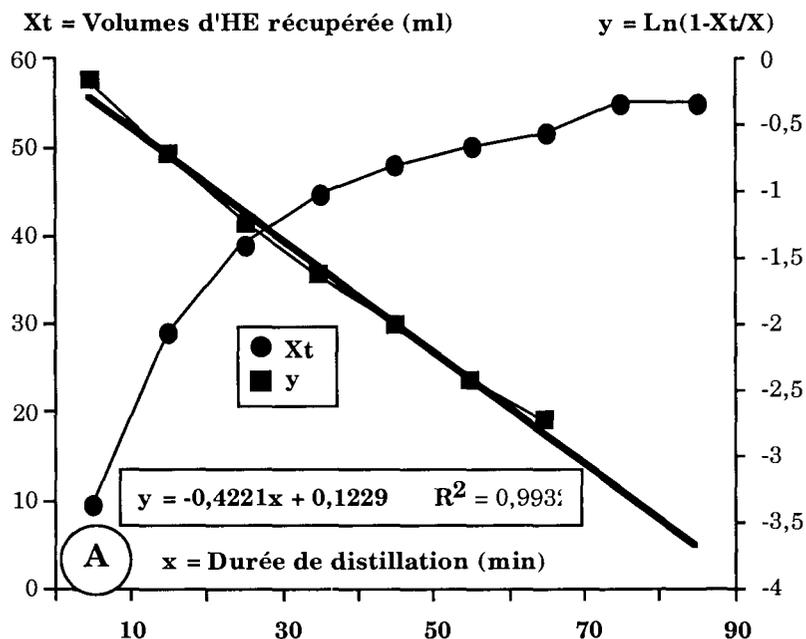
$$\text{Ln } x/X = \text{Ln}[(X - x_t)/X] \quad [3]$$

$$\text{Ln}(1 - x_t/X) = k.t \quad [4]$$

$x_t/X$  = fraction de l'huile extraite depuis le début de l'extraction jusqu'à l'instant  $t$ .

Connaissant la valeur de  $X$  pour une espèce végétale donnée et dans des conditions opératoires données et connaissant  $x_t$  (la quantité d'HE extraite depuis le début de l'opération jusqu'à l'instant  $t$ ), on peut tracer la courbe:

$$Y = \text{Ln}(1 - x_t/X) = f(t) \quad [5]$$



**Figure 46. Cinétiques d'extraction des HE, par entraînement à la vapeur d'eau, à partir de deux plantes aromatiques**

A. Cas des feuilles d'*E. camaldulensis*. (X = 62.5 ml extraits après 110 min de distillation)

B. Cas de la tanaise annuelle (X = 15.5 ml d'HE extraite après 6 H de distillation)

Si l'hypothèse de départ (équation [1]) est correcte, on aura une droite qui passe par l'origine des axes de coordonnées.

Les différents travaux réalisés dans ce domaine (Taoussi, 1992; Slama, 1994, Mettali, 1994; Greche, 1999, etc.) ont montré qu'effectivement les courbes obtenues pour l'équation [5] peuvent être assimilées à des droites avec de très bons coefficients de corrélation.

Cependant, l'ordonnée à l'origine n'est pas toujours nulle. Autrement dit, l'équation [5] s'écrirait plutôt:

$$\text{Ln}(1 - x_t/X) = k.t + B \quad [6]$$

B = constante.

L'équation 6 semble représenter, effectivement, la cinétique d'extraction des HE de toutes les espèces végétales aromatiques.

Tous les paramètres qui définissent cette équation peuvent être facilement déterminés en pratique:

- B est une constante qui représente l'ordonnée à l'origine de la droite de régression qui représente l'équation 6
- k est une autre constante qui représente la pente de la même droite
- X est une troisième constante qui représente la quantité d'HE obtenue à partir d'une masse végétale donnée (1t; 1q; 1kg ..) en prolongeant la distillation le plus longtemps possible. On prolonge cette distillation pour se rapprocher le plus possible de l'épuisement total de la biomasse végétale. Autrement dit, on poursuit la distillation jusqu'à ce que la courbe  $X_t = f(t)$  (Figure 46) prenne une forme asymptotique à une droite parallèle à l'axe des abscisses. L'ordonnée à l'origine de cette droite représente la constante X. En pratique, on peut, par exemple, considérer que la totalité de l'HE est extraite quand une prolongation de l'opération de distillation de 15 min ne change pratiquement pas le volume d'HE récupéré. La linéarité de la courbe représentative de l'équation 6 est particulièrement bonne dans la limite d'extraction de l'HE allant de 60 à 95% voire 97% de X. La figure 47 donne des exemples de résultats expérimentaux pour trois plantes: la tanaïse annuelle, l'*Eucalyptus camaldulensis* et le romarin officinal.

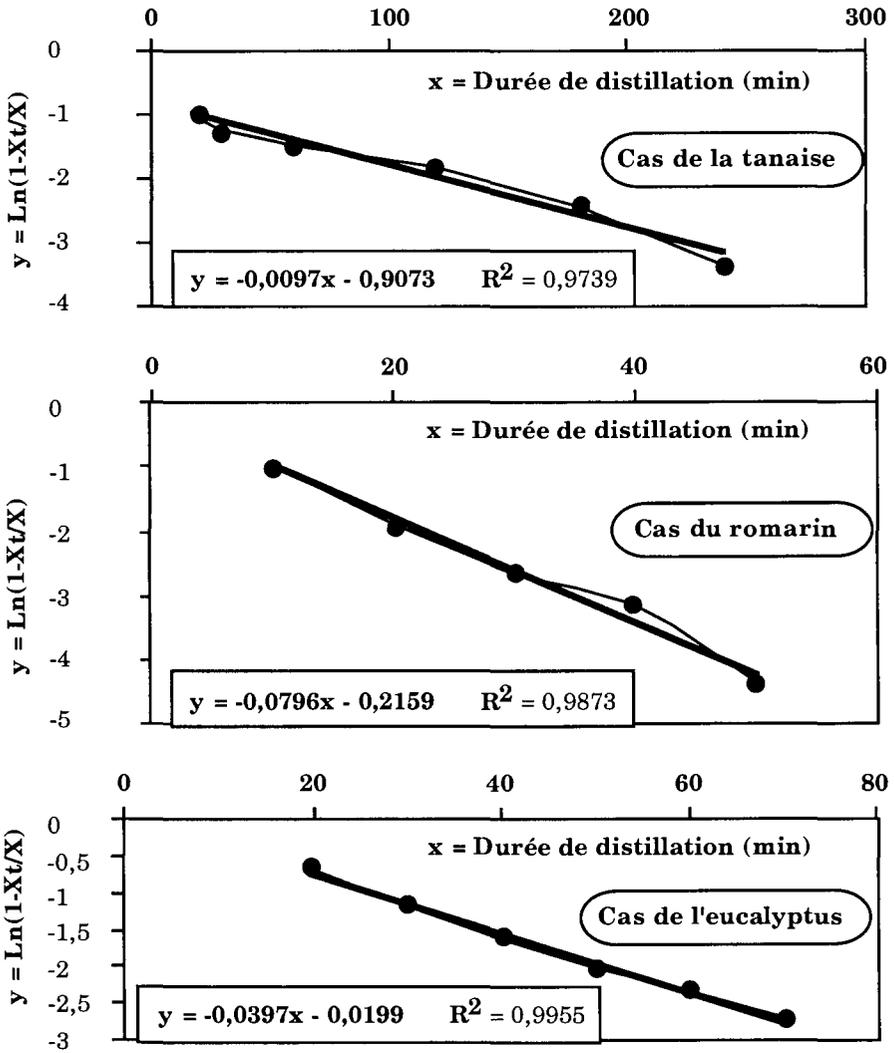


Figure 47. Cinétique de distillation, à l'aide d'un même appareil, de 3 plantes aromatiques

Sur le plan pratique, l'équation (6) permet de mieux gérer la distillation d'une plante aromatique donnée, en permettant de répondre à la question: combien de temps faut-il pour distiller la plante considérée? Ou encore quelle est la durée pratique de distillation? Grâce à l'équation 6, on peut définir, avec précision, cette durée pour une espèce végétale donnée et un équipement donné. Ainsi, en admettant que la durée pratique est celle qui permet de

récupérer 90% de X, on a  $\text{Ln}(1-90/100) \approx -2.3$ . Connaissant les valeurs de k et de B (équation 6) ou disposant d'une courbe équivalente à celles de la figure 46, on détermine  $t_p$ , la durée pratique de distillation à 90%. Pour 80% ou 70%... de X, on a:

$\text{Ln}0.2 \approx -1.6$  et donc  $t_{p80\%} \approx \text{Ln}0.3 \approx -1.2$  ce qui donne  $t_{p70\%}$ , etc.

Connaissant ces valeurs (différents  $t_p$ ) et connaissant les coûts de l'opération de distillation ainsi que les incidences sur les qualités de l'HE obtenue, dans chaque cas de figure, on peut fixer la durée pratique de distillation à adopter. À titre d'exemple, pour le cas de l'*Eucalyptus camaldulensis* (Cf. Figure 46) on obtient 90% de l'HE «totale» (extractible en 3 H) en 64 min, 80% en 41 min, 70% en 31min, etc. On ne distille jamais une plante jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de traces d'HE. Mais on distille, jusqu'à ce que les résultats attendus ne justifient plus les coûts de la continuation de l'opération de distillation.

La cinétique d'extraction de l'HE varie, bien entendu, d'un végétal à un autre. Les constantes k, b et X sont caractéristiques d'une espèce végétale donnée et pour un équipement donné. À titre d'exemple, l'équation 6 a été vérifiée pour une même espèce végétale (*E. camaldulensis* Dehn) en utilisant quatre appareils pilotes différents (différents par leurs formes, leurs volumes et leurs conceptions):

- Appareil n°1: Appareil de la figure 32 (Chapitre 6) (voir équation 1, Tableau 34) (Taoussi, 1992).
- Appareil n°2: Appareil de la figure 31 (Chapitre 6) (voir équation 2, Tableau 34) (Mettali, 1994).
- Appareil n°3: Appareil de la figure 31, mais avec une double paroi. Le volume interstitiel (1.5 cm de largeur) entre les deux parois est ouvert sur l'arrivée de vapeur d'eau saturée (voir équation 3, Tableau 34) (Mettali, 1994).
- Appareil n° 4: Identique au n°2, mais d'un volume 10 fois plus élevé (voir équation 4, Tableau 34) (Slama, 1994).

Les appareils n°2 et n°3 ont été également testés sur le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) par Mettali (1994). (voir équation 5 et 6 respectivement, Tableau 34).

L'appareil n°2 a, par ailleurs, été testé sur la tanaïse annuelle (*Tanacetum annuum* L.) par Greche (1999) (voir équation 7, Tableau 34).

Andersen *et al.* (1995) ont proposé une autre méthode pour la modélisation du phénomène d'entraînement de l'huile essentielle par la vapeur d'eau. La quantité d'HE extraite peut être assimilée à une fonction linéaire de l'inverse de la durée d'extraction (Figure 48).

$$Q = k/t + Q_{\max} \quad [7]$$

Q = Quantité d'HE extraite (en masse ou en volume) après une durée d'extraction «t» (en min, en heure, etc.).

$Q_{\max}$  = Quantité maximale d'HE extractible de la charge végétale après une durée d'extraction très longue.

K = Constante positive

Ce modèle a été testé pour les 7 cas précédents (équations 1 à 7). Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 34 (équations 1' à 7'). Il ressort des résultats obtenus que le modèle proposé semble acceptable. Les coefficients de corrélation sont, cependant, parfois moins bons que dans le modèle précédent.

Par contre, ce dernier modèle paraît particulièrement intéressant pour établir la quantité maximale d'HE «X» d'une charge végétale donnée. En effet,  $Q_{\max}$  représente, théoriquement, la valeur de X (Cf. relation 7 ci-dessus). Expérimentalement, les valeurs de  $Q_{\max}$  ne diffèrent pas beaucoup de celles de X (Cf. Tableau 34). Or, les valeurs de  $Q_{\max}$  peuvent être déterminées avec une précision acceptable ( $|Q_{\max} - X| < 10\%$  de X voire  $< 5\%$ ) tout en réduisant la durée  $t_{\max}$  d'au moins de moitié (Cf. Tableau 34).

Pour déterminer la durée pratique de distillation, le premier modèle (relation 6) paraît plus intéressant, surtout dans le domaine 45-95% (Cf. Tableau 34). En pratique, il est rare qu'on cherche à récupérer moins que la moitié de l'HE disponible dans la plante et plus que 95% du même produit (Encadré 29).

Toutefois, quand on veut utiliser le deuxième modèle, pour estimer la durée pratique de distillation, on peut le faire en appliquant la relation suivante:

- Soit  $t_{x\%}$ , la durée de distillation qui permet d'obtenir x% de  $Q_{\max}$ .  
On peut écrire:

$$Q_{\max} \cdot (x/100) = -k/t_{x\%} + Q_{\max}$$

$$Q_{\max} (1-x/100) = k/t_{x\%}$$

D'où:

$$t_{x\%} = k/Q_{\max} \cdot 100/(100-x) \quad [8]$$

**Tableau 34. Applications des deux relations (6 et 7) pour la modélisation de l'entraînement de l'HE par la vapeur d'eau**

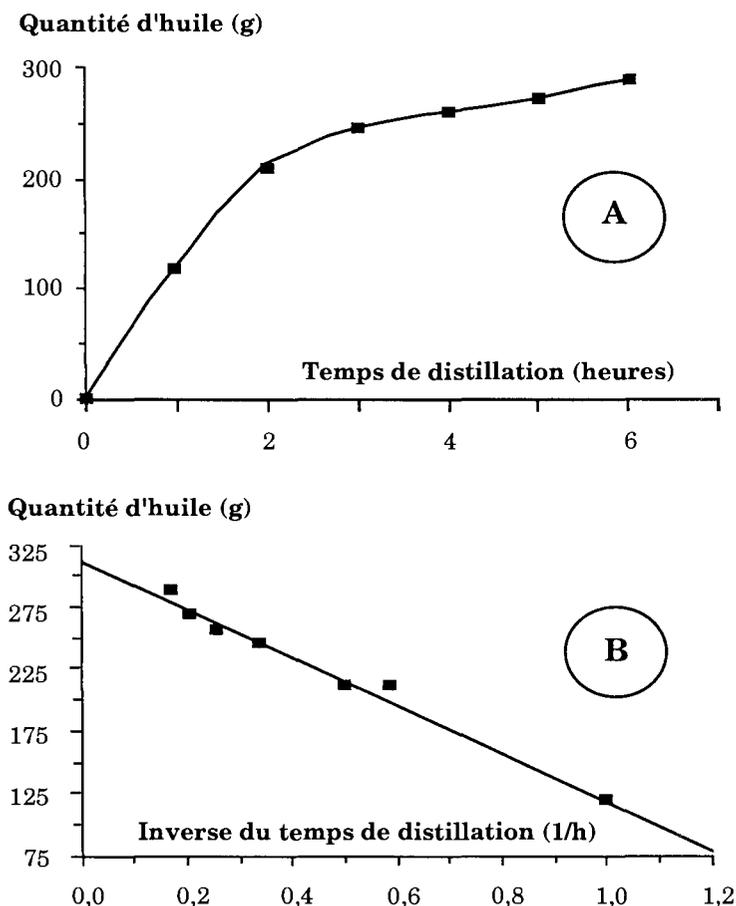
.....Modèle 1 (équation 6).....				.....Modèle 2 (équation 7).....					
Équations	Domaine de validité	R <sup>2</sup>	X (ml) et t <sub>max</sub> (min)	Équations	Domaine de validité	R <sup>2</sup>	Q <sub>max</sub> à t <sub>max</sub> /2	Q <sub>max</sub>	[Q <sub>max</sub> - X] (en % de X)
1 Y = -0,0214 t - 0,299 Y = -0,0226 t - 0,194	45 à 95% 20 à 95%	0,993 0,984	53,8 ml en 210 min	1' Q = -638,4 . 1/t + 54,7 Q = -458,2 . 1/t + 51,5	45 à 95% 20 à 97%	0,984 0,954	54,7 55,1	50	7
2 Y = -0,0398 t - 0,0191 Y = -0,0422 t + 0,1108	45 à 95% 20 à 95%	0,996 0,992	56 ml en 90 min	2' Q = -634,1 . 1/t + 60 Q = -492,4 . 1/t + 57	45 à 95% 20 à 97%	0,999 0,984	60 57	54,2	3
3 Y = -0,0448 t + 0,169 Y = -0,0457 t + 0,215	45 à 95% 20 à 95%	0,994 0,996	61 ml en 110 min	3' Q = -744,3 . 1/t + 60,1 Q = -546,3 . 1/t + 63,2	45 à 95% 20 à 95%	0,994 0,974	60,1 63,2	59,5	2,4
4 Y = -0,0362 t + 0,090 Y = -0,0367 t + 0,121	45 à 95% 20 à 95%	0,993 0,995	545 en 180 min	4' Q = -6434,6 . 1/t + 580,1 Q = -4722,1 . 1/t + 545,2	45 à 95% 20 à 95%	0,961 0,958	580,1 545,2	545,2	0
5 Y = -0,0705 t - 0,314	50 à 99%	0,9997	23 ml en 70 min	5' Q = -164,6 . 1/t + 24,4	50 à 99%	0,996	24,4	24	4
6 Y = -0,0798 t - 0,141	50 à 99%	0,986	28 ml en 80 min	6' Q = -164,6 . 1/t + 31,3	50 à 99%	0,989	31,3	31,7	9,6
7 Y = -0,0097 t - 0,909 Y = -0,0109 t - 0,692	60 à 95% 20 à 95%	0,973 0,927	15,05 ml en 360 min	7' Q = -87,7 . 1/t + 14 Q = -99,9 . 1/t + 14,3	60 à 95% 20 à 95%	0,877 0,971	14 14,3	13,8	8

Notes:

- Domaines de validité: Les précisions des régressions (valeurs de R<sup>2</sup>) s'améliorent quand on élimine les premiers et derniers points des courbes. On a ainsi considéré, autant que possible, deux domaines distincts: 20 à 95%, d'une part, et 45 à 95%, d'HE extraite, d'autre part. Les % considérés sont ceux de x<sub>t</sub> par rapport à X (équation 6)

-X: Cf. équations 6 et Q<sub>max</sub>: Cf. équation 7; t<sub>max</sub> = durée de distillation suffisamment longue permettant d'estimer X (Cf. équation 6); [Q<sub>max</sub> - X] = valeur absolue de (Q<sub>max</sub> - X)

Les numéros des équations 1 à 7 et 1' à 7' se rapportent aux équipements utilisés et au matériel végétal traité (Cf. page p 258)



**Figure 48. Production d'huile essentielle à partir du bois de cèdre (*Thuja occidentalis*) en fonction de la durée de la distillation (A) et de l'inverse de ce même paramètre (B) (Andersen *et al.* (1995) (Régression linéaire :  $y = 310 - 192 \times 1/t$   $R^2 = 0,998$ ;  $t$  = durée de distillation en heure;  $y$  = quantité d'HE en g)**

En résumé, la cinétique d'extraction de l'HE dépend bien du matériel végétal traité et de l'équipement utilisé. Pour un végétal donné et un équipement de distillation donné, on peut toujours déterminer une courbe de cinétique d'extraction permettant de décider de la durée pratique de distillation. Deux modèles mathématiques peuvent être utilisés pour déterminer cette durée, mais le premier semble plus précis. Bien gérer sa distillation passe par cette optimisation du temps (Encadré 29).

### Encadré 29. Détermination de la durée pratique de distillation des PAM

1. La cinétique d'extraction des HE peut être estimée par l'équation 6

$$\text{Ln} (1-x_t/X) = k \cdot t + B$$

-  $x_t$  = quantité d'HE extraite (en masse ou en volume) depuis le début de la distillation jusqu'à l'instant  $t$ .

-  $X$  = quantité maximale d'HE extractible de la même charge végétale (1 q par exemple) quand on prolonge la distillation le plus longtemps possible (jusqu'à épuisement de la charge).

-  $k$  et  $B$  deux constantes déterminées par la régression linéaire de la fonction:

$$Y = \text{Ln} (1-x_t/X) = f(t)$$

2. La durée pratique de distillation,  $t_{x\%}$

$t_{x\%}$  = durée de distillation qui permet de récupérer  $x\%$  de  $X$ .

$$t_{x\%} = (Y_{x\%} - B) / k$$

Avec  $Y_{90\%} = \text{Ln}(0.1) = -2.3$ ;  $Y_{80\%} = \text{Ln}(0.2) = -1.6$ ;  $Y_{70\%} = \text{Ln}(0.3) = -1.2$

3. Application aux 7 exemples du tableau 34

Plantes	Appareils (Cf. § 3.2.1)	Équation n° (Cf. Tab. 34)	Durée de distillation en min			
			Taux d'extraction en % de X 100	90	80	70
Eucalyptus	1	1	210	93	61	42
Eucalyptus	2	2	90	57	40	30
Eucalyptus	3	3	110	55	40	31
Eucalyptus	4	4	180	66	47	36
Romarin	2	5	70	28	18	13
Romarin	3	6	80	27	18	13
Tanaise annuelle	2	7	360	143	71	30

4. Remarques

a. L'appareil 1 diffère des trois autres (2, 3 et 4) par l'existence d'une colonne de rectification verticale (Figure 32; Chapitre 6). Les données de la cinétique de distillation de cet appareil sont nettement différentes de celles des trois autres.

b. Les appareils n°2 et 4 sont exactement de même conception. Ils diffèrent uniquement par leurs volumes. La capacité de charge du n°4 est 10 fois celle du n°2.. Cette différence n'affecte que relativement peu les durées pratiques de distillation entre 70 et 90%.

c. Les appareils 2 et 3 ont le même volume. Ils diffèrent par leur conception. L'un (n°3) est à double enveloppe. Les deux appareils donnent pratiquement les mêmes durées de distillation.

d. La nature de l'espèce végétale a un grand effet sur la durée de distillation

### 5. Conclusions

- a. Pour chaque espèce végétale, il faut déterminer la durée de distillation pour un taux d'extraction donné
- b. Pour des alambics de conceptions voisines, ne différant que par leurs volumes par exemple, on peut dans une première approximation, négliger l'effet de l'appareil sur la durée de distillation
- c. La prolongation de la durée de distillation n'est pas proportionnelle à la quantité d'HE récupérée. Il faut savoir comparer le gain apporté par la prolongation de la distillation aux frais engagés.

### 3.2.2. *Durée de distillation et composition chimique de l'HE*

Une HE est un mélange de dizaines voire de centaines de constituants chimiques naturels différents. La loi générale régissant la cinétique d'extraction (équation 6) pour l'HE dans sa globalité est valable pour chacun des constituants séparément. Toutefois, chaque constituant a ses propres caractéristiques  $k$  et  $b$ . Donc pour un constituant  $i$ , on a l'équivalent de l'équation 6:

$$\text{Ln}(1-x_{it}/X_i) = k_i \cdot t + b_i \quad [8]$$

$k_i$  et  $b_i$  sont des constantes caractéristiques du constituant  $i$

Autrement dit, les constituants de l'HE existants dans la plante ne sont pas tous extraits à la même vitesse. De ce fait, la composition chimique du produit obtenu, c'est à dire ses propriétés organoleptiques (et par voie de conséquence sa qualité commerciale), ne reproduit jamais celle qui existe dans la plante. Il n'y a pas que les transformations qui s'opèrent lors de la distillation (hydrolyse, oxydation, réarrangement d'isomères, ...) qui affectent cette composition. Celle-ci dépend également de la durée de distillation adoptée.

D'une façon générale, les toutes premières fractions de l'HE obtenues par hydrodistillation sont relativement plus riches en monoterpénoides. Les dernières fractions sont mieux pourvues en hydrocarbures sesquiterpéniques (Cf. Figure 30, Chapitre 6) (Greche, 1999).

Les hydrocarbures monoterpéniques sont généralement entraînés à des vitesses légèrement plus lentes que celles des monoterpénoides. Les sesquiterpénoides se retrouvent plus concentrés dans les fractions intermédiaires entre les monoterpènes et les sesquiterpènes (Djerrari & Crouzet, 1997).

La durée de la distillation conditionne, non seulement le rendement en HE obtenue, mais également la composition chimique et, donc, la qualité commerciale du produit fini. La bonne détermination de la durée pratique de distillation est donc doublement intéressante.

### **3.3. Charge de l'alambic en matériel végétal**

L'effet de la charge en matériel végétal sur l'efficacité de l'opération de distillation a déjà été souligné (Cf. § 2; Chapitre 6). La charge de l'alambic affecte le rendement en HE de trois façons différentes:

- Sur le plan quantitatif, la masse du matériel végétal chargé dans un alambic donné semble avoir un effet direct sur le rendement en HE. Il y aurait une charge optimale qui donnerait le meilleur rendement.
- La manière de charger l'alambic est aussi importante que la masse de cette charge. Le chargement doit se faire de façon aussi régulière que possible. C'est une condition nécessaire pour éviter l'apparition de chemins préférentiels quant à la circulation de la vapeur. Ce phénomène, quand il apparaît, augmente la consommation de vapeur et réduit les rendements en HE.
- La forme du matériel végétal chargé dans l'alambic (plus ou moins pulvérisé, fleurs, feuilles, branchage feuillu plus ou moins découpé, etc.) peut, elle aussi, faciliter ou gêner l'opération de distillation.

### **3.4. Débit de vapeur**

L'effet si important de ce facteur sur le rendement en HE d'une distillation a également été traité dans le chapitre précédent (Cf. § 3.1; Chapitre 6).

Pour un équipement et un procédé donné et pour une espèce végétale déterminée, il existe un débit optimal donnant le meilleur rendement possible en HE. Ce débit optimal ne peut être établi que de façon empirique.

### **3.5. Effet du traitement du matériel végétal sur le rendement et la composition chimique de l'HE**

#### **3.5.1. Broyage du matériel végétal avant sa distillation**

Certaines technologies modernes de distillation des plantes aromatiques exigent un broyage du matériel végétal avant qu'il ne

soit mis au contact de la vapeur d'eau pour l'entraînement des constituants volatils. L'opération de broyage est exigée par les procédés eux-mêmes. Elle faciliterait, d'après les auteurs de ces procédés, l'extraction de l'HE par l'augmentation de la surface d'échange. Le procédé de distillation en continu mis au point par AROMA PROCESS, dit «turbo-distillateur» (Cf. § 7.3; Chapitre 7) est un bon exemple. Le matériel végétal lui-même, comprimé à la sortie et à l'entrée du corps du distillateur par une vis sans fin suffisamment puissante, permet de diriger la vapeur en continu suivant le chemin habituel: générateur de vapeur, écoulement en contre-courant du matériel végétal dans le corps d'extraction, évacuation de la vapeur chargée des constituants de l'HE vers le condenseur puis le séparateur de l'HE (Cf. Figure 41; Chapitre 7).

Pour réussir cette opération (formation de bouchons en matériel végétal, mobiles et suffisamment étanches à la vapeur d'eau), le matériel végétal doit subir, au préalable, un broyage conséquent. Par ailleurs, ce broyage, quand il est bien étudié, augmente en principe la surface d'échange entre le milieu solide et la vapeur d'eau. Il améliore, par conséquent, la vitesse d'extraction de l'HE et le rendement de l'opération de distillation. C'est en tout cas l'un des points forts que défendent les auteurs du procédé. La distillation en containers (Cf. § 7.4; Chapitre 7), telle qu'elle est utilisée par plusieurs distilleries modernes, exige un minimum de broyage de la plante pour faciliter le chargement mécanique de «l'alambic» sur le lieu de récolte.

Dans d'autres cas, le broyage est exigé par la nature de la matière première. Ainsi, la distillation du bois (bois de cèdre, bois de thuya, etc.) ne peut nullement être envisagée sans un broyage conséquent. Parfois, la distillation n'est économiquement envisageable que pour une matière déjà broyée et pulvérisée. La distillation du bois du cèdre de l'Atlas est un bon exemple.

En effet, vu le coût de ce bois et le prix de son HE, il est difficile d'envisager la distillation d'autres choses que de la sciure et les résidus qu'on récupère dans les scieries spécialisées.

Le broyage n'a pas que des retombées positives sur la vitesse de distillation et sur le rendement en HE. En effet, un broyage trop fin risque de gêner la circulation de vapeur et peut donc ralentir la

vitesse de distillation. Il peut également entraîner l'apparition des chemins préférentiels pour la vapeur et réduire donc les rendements en HE. Ce phénomène est souvent observé lors de la distillation de la sciure du bois de cèdre de l'Atlas au Maroc. Les distillateurs ne produisent pas la sciure et donc ne maîtrisent pas la granulométrie de la matière traitée. Ils traitent ce qu'ils peuvent récupérer dans les scieries et c'est généralement de la sciure trop fine pour la distillation.

On voit nettement l'effet négatif de cette granulométrie tant sur la vitesse que sur le rendement de distillation. La meilleure solution dans ce cas serait d'utiliser un alambic agité (Cf. § 7.5, Chapitre 7).

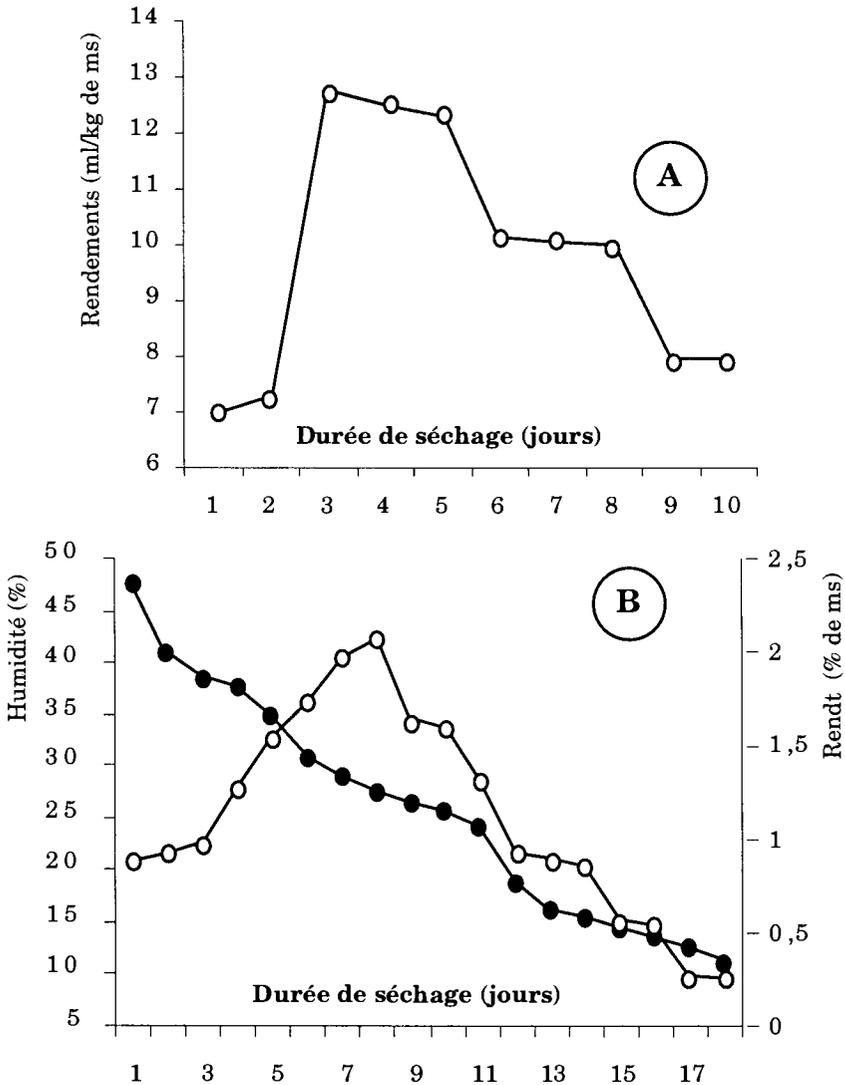
### **3.5.2. Séchage de la biomasse végétale avant distillation**

Le séchage de la plante, avant sa mise en distillation, est un autre traitement qui a des effets très nets sur le rendement en HE. Plusieurs travaux ont confirmé ce phénomène général.

Le rendement en HE, exprimé par rapport à la matière sèche, évolue durant le séchage du matériel végétal avant sa mise à distillation. Ce rendement commence, dans une première phase, par augmenter très nettement. Il atteint un maximum. Puis dans une deuxième phase, il baisse régulièrement. La durée de la première phase et le niveau du rendement optimal dépendent de l'espèce végétale concernée et des conditions de séchage mises en œuvre (séchage naturel à l'ombre ou au soleil).

Cette règle a été confirmée pour l'eucalyptus (Figure 49) (Zrira, 1992; Zrira & Benjilali, 1991c), pour la verveine (Eddaouri, 1992; Belanger *et al.*, 1993), pour les lavandes (Raiss, 1998), pour la tanaise annuelle (Grech, 1999), pour le romarin (El Amrani, 1999; El Amrani *et al.*, 1997b),...

Dans l'ensemble des travaux réalisés au laboratoire des plantes aromatiques à l'IAV Hassan II au Maroc, seule une espèce a échappé à cette règle. Il s'agit du ciste ladanifère. Dans ce cas, la teneur en HE reste constante pendant plusieurs semaines (M'rabet, 1999). La figure 49 montre l'expression de ce phénomène dans le cas de cinq espèces végétales.

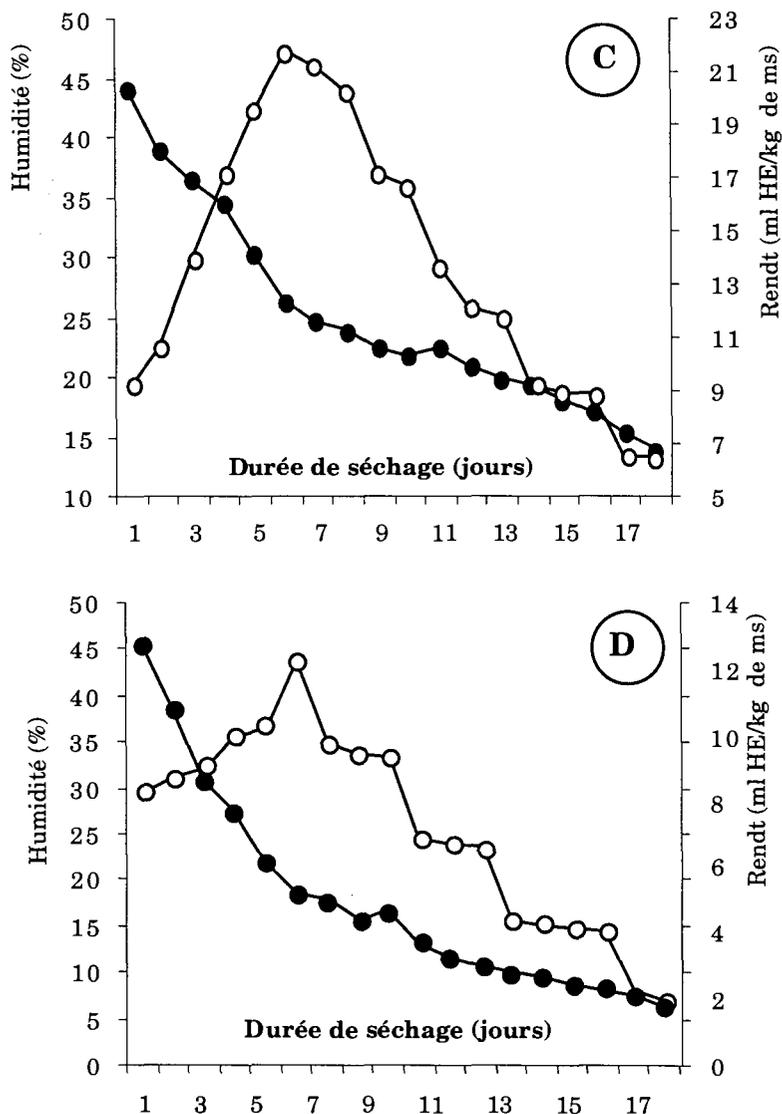


**Figure 49. Effet du séchage du matériel végétal, avant la distillation, sur les rendements en huiles essentielles (HE) obtenues par entraînement à la vapeur d'eau**

Rendements exprimés par rapport à la matière sèche (ms)

A: Cas de la verveine (*Lippia citriodora*), séchage naturel à l'ombre (Bélanger *et al.*, 1993)

B: Cas du romarin (*Rosmarinus officinalis*), séchage naturel à l'ombre (El Amrani *et al.*, 1997b)

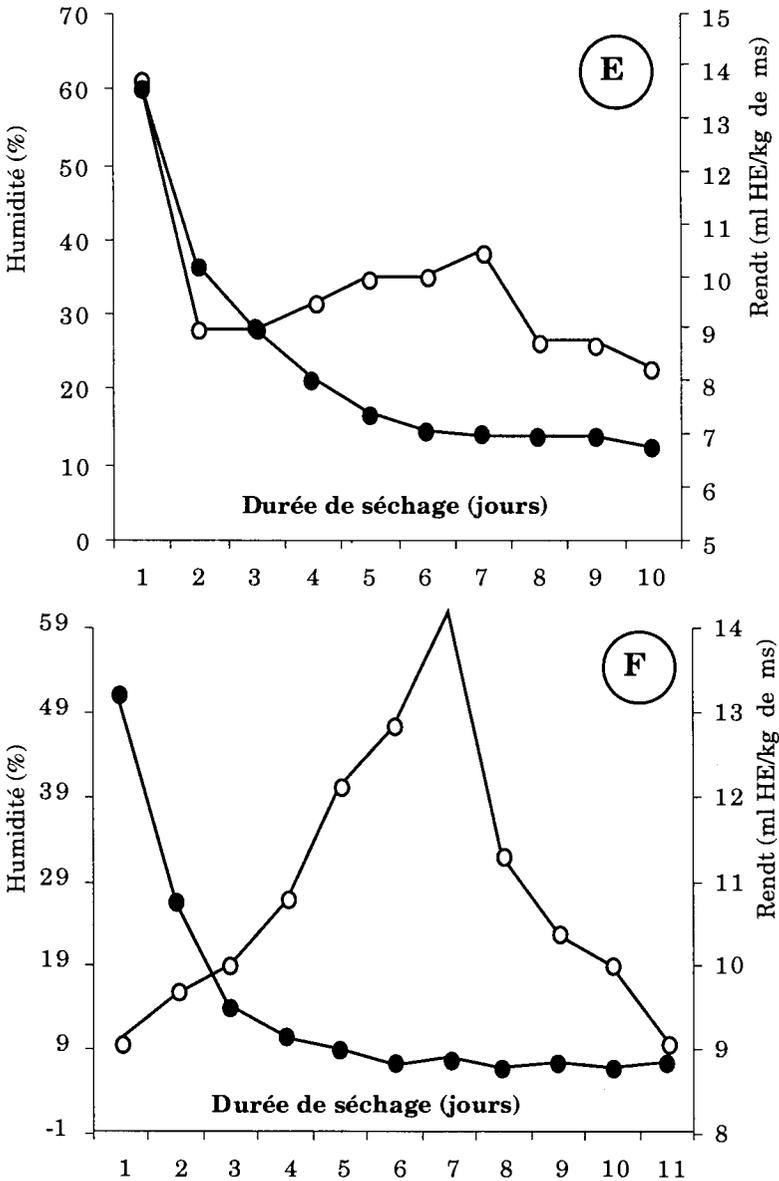


**Figure 49. Effet du séchage du matériel végétal, avant la distillation, sur les rendements en huiles essentielles (HE) obtenues par entraînement à la vapeur d'eau**

Rendements exprimés par rapport à la matière sèche (ms)

C: Cas du romarin (*Rosmarinus eriocalix*), séchage naturel à l'ombre (El Amrani, 1999)

D: Cas du romarin (*Rosmarinus officinalis*), séchage naturel au soleil direct (El Amrani *et al.*, 1997b)



**Figure 49. Effet du séchage du matériel végétal, avant la distillation, sur les rendements en huiles essentielles (HE) obtenues par entraînement à la vapeur d'eau**  
 Rendements exprimés par rapport à la matière sèche (ms)  
 E: Cas de la tanaïse (*T. annuum*), séchage naturel à l'ombre (Greche, 1999)  
 F: Cas des feuilles d'eucalyptus (*E. Camaldulensis*), séchage naturel à l'ombre (Zrira, 1992)

Après avoir vérifié plusieurs hypothèses, Zrira (1992) a conclu qu'il s'agit d'un phénomène biologique: la plante, après sa récolte, continue à vivre et son activité de biosynthèse des terpènes et dérivés s'accroît. Il paraît s'agir, pour la plante, d'un moyen de défense contre le stress hydrique. Ceci expliquerait l'augmentation des rendements en HE pendant les premières phases des courbes représentées dans la figure 49. Après la mort définitive de la plante, toute l'activité de biosynthèse s'arrête et les pertes d'HE par évaporation ne sont plus compensées, d'où les baisses des rendements de distillation.

Certains procédés industriels semblent exploiter ce phénomène même sans en être parfaitement conscients. Muñoz (1987) préconisait le stockage du matériel végétal avant sa distillation, sous abri, dans un hangar suffisamment aéré. D'après cet auteur, ce procédé permet à la plante de perdre au moins le tiers de sa teneur en eau et facilite l'opération de distillation. La durée de stockage recommandée par le même auteur serait de deux jours. L'auteur ne présente cependant aucune raison qui justifie le choix de deux jours. Certains distillateurs de la sauge recommandent «d'assoiffer» la plante pendant une quinzaine de jours avant la coupe. Il s'agit d'arrêter tout arrosage de la culture pendant cette période. Une telle pratique revient, en fin de compte, à une certaine forme de séchage partiel du végétal (la récolte de la sauge étant réalisée en période estivale).

Dans d'autres situations, il est conseillé de laisser la plante «faner» sur le champ après la coupe et avant la mise en distillation. Ce type de pratique est courant, par exemple, chez les distillateurs de menthe. Dans toutes ces pratiques, on utilise de façon empirique le phénomène représenté dans la figure 49.

Cependant, cette amélioration des rendements en HE pendant les premiers jours de séchage ne doit pas être considérée comme une règle générale. Le cas du ciste ladanifère dont les rendements en HE sont indépendants de la durée de séchage fait exception.

Certaines espèces végétales comme l'anis et le fenouil doivent être distillées quelques heures après la récolte à cause de la grande volatilité de certains constituants nobles comme l'anéthol (Muñoz, 1987).

### 3.5.3. «*Maturation*» de la matière première post-récolte

Les racines d'iris donnent, par entraînement à la vapeur d'eau, une HE dite «beurre d'iris». Le produit est appelé ainsi à cause de sa consistance semi-solide due à sa forte teneur en acides gras saturés en particulier l'acide myristique. Le beurre d'iris est recherché pour sa teneur en irones, laquelle teneur est fonction de la durée et des conditions du stockage des rhizomes après la récolte. En effet, après la récolte, les rhizomes d'iris sont stockés pendant au moins trois ans avant leur distillation. C'est durant cette période dite de «vieillesse» que les irones sont formées. Seule la maîtrise de cette variable permet l'obtention d'une matière première de bonne qualité qui, sans laquelle, on ne peut jamais espérer un bon produit de l'opération de distillation.

## 4. FACTEURS LIÉS À LA NATURE DE LA PLANTE ET À LA QUALITÉ DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

Il est bien connu que les résultats de l'opération de distillation dépendent de la nature de l'espèce végétale et de la partie traitée de cette dernière (feuilles, fleurs, racines, bois). Le traitement éventuel subi par le végétal avant sa distillation, conditionne, lui aussi, dans une large mesure, les résultats de cette opération. La matière première peut, dans certains cas, exiger des soins particuliers au moment de la récolte ou pendant l'opération de distillation comme elle peut orienter le choix vers un procédé de distillation plutôt qu'un autre.

### 4.1. Chimiotaxonomie

Une plante aromatique comportant plusieurs chemotypes donne, par définition même du chemotype, des HE de compositions chimiques et donc, de qualités commerciales différentes. Le cas de l'armoise blanche du Maroc a déjà été passé en revue (Cf. Chapitre 3). Cette espèce comporte huit chemotypes (Benjilali & Richard, 1980; Benjilali *et al.*, 1982) voire 16 chemotypes (Lamiri *et al.*, 1997a). Ces chemotypes se répartissent sur le territoire marocain en zones géographiques plus ou moins caractéristiques de chaque chemotype. Tout mélange (ou confusion) entre chemotypes différents lors de la récolte du végétal peut influencer de façon très importante sur le résultat global de la distillation, aussi bien quantitatif que qualitatif. Ce qui

est valable pour l'armoise blanche l'est également pour de nombreuses autres espèces aromatiques (romarin, origan, thym, etc.) (Cf. Chapitre 3). Les plantes de culture n'échappent pas à cette règle. Le cas du *Thymus vulgaris* cultivé en Europe (en France en particulier) est un bon exemple. Sept chemotypes ont été sélectionnés et sont disponibles pour de telles cultures: Thym à thymol, thym à carvacrol, thym à linalol, à alpha-terpinéol, à thuyanol-4 + alpha-terpinéol et thym à 1,8-cinéole (iteipmai, 1989). Toute confusion dans le choix du cultivar ne peut que se répercuter sur les résultats obtenus au niveau de la distillation. Le basilic est un autre exemple de plantes aromatiques et médicinales de culture riche en chemotypes distincts. Le bon choix du cultivar est là aussi une nécessité pour réussir la production, par distillation, d'HE de qualité requise.

#### **4.2. «Fragilité» chimique de certains constituants de l'HE**

Les HE de certaines plantes sont très sensibles aux conditions de distillation. C'est le cas des HE riches en esters comme les acétates d'alcools monoterpéniques (HE de la lavande, de l'inule, de l'*Ammi visnaga*, etc.). Suivant les conditions de distillation, ces huiles s'hydrolysent très facilement, surtout lorsque le pH du milieu est favorable. C'est une donnée dont il faut tenir compte pour une meilleure maîtrise de la distillation des plantes aromatiques et médicinales.

#### **4.3. Nature du (des) produit(s) recherché (s) dans l'HE et son origine**

Pour certaines HE, le principal produit recherché n'est élaboré qu'au cours de l'opération de distillation. Par exemple, la tanaïse annuelle (*Tanacetum annuum* L.) donne une HE relativement riche en chamazulène qui donne à l'essence une couleur bleue très foncée. De nombreux utilisateurs recherchent cette huile pour cette couleur et donc pour sa teneur en chamazulène. Des travaux réalisés au laboratoire «Plantes aromatiques et médicinales» de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, sur cette plante, laissent penser que le chamazulène est élaboré, à partir de précurseurs préexistants dans la plante. À chaud et en milieu aqueux lors de l'opération de l'entraînement à la vapeur d'eau, ces précurseurs se transforment en chamazulène (Greche, 1999). Dans le même ordre d'idées, la même plante, traitée au laboratoire par hydrodistillation,

(Cf. § 3.3.1; Chapitre 5), donne une HE pouvant contenir jusqu'à 25% de chamazulène alors que celle qui est produite industriellement par vapo-hydrodistillation (Cf. § 3.3.2; Chapitre 5) dans un alambic à feu nu classique ne dépasse jamais 5% de chamazulène. Une telle espèce végétale conditionne, par ses propres caractéristiques, le choix du procédé de distillation pour garantir la qualité recherchée.

#### 4.4. Stade végétatif de la plante à la récolte

Pour la presque totalité des espèces végétales à intérêts aromatiques, le rendement en HE et la composition chimique de cette dernière varient avec le stade végétatif de la plante à la récolte. C'est le cas en particulier de toutes les espèces spontanées distillées au Maroc. Le rendement optimal varie d'une espèce à l'autre. Pour le romarin (*Rosmarinus officinalis* L. et *R. eriocalix* Jordan et Fourr), les meilleurs rendements en HE sont obtenus lorsque la plante est récoltée en pleine floraison (El Amrani, 1999; El Amrani *et al.*, 1997a).

Dans le cas de la verveine odorante (*Lippia ctriadora* Kunth), l'optimum des rendements en distillation est obtenu avec une plante se trouvant au stade juste avant la floraison (Eddaouri, 1992). Concernant la tanaïse annuelle (*Tanacetum annuum* L.), le meilleur rendement en HE est obtenu bien avant la floraison (Greche, 1999; Greche *et al.*, 1997), etc.

Il est donc évident que la maîtrise de la période de récolte, pour chaque espèce végétale, influe de façon très nette sur les résultats de l'opération de distillation.

### 5. CONCLUSIONS

Parmi les facteurs susceptibles d'influer sur l'efficacité de tout équipement de distillation des PAM, certains sont liés à la conception du matériel lui-même ou au procédé de distillation adopté. D'autres dépendent du matériel végétal traité (état physique, chimiotaxonomie, stabilité chimique de certains constituants de l'HE, etc.)

En règle générale, les optimisations de ces différents facteurs ne peuvent se faire que de façon empirique et au cas par cas. La maîtrise de la distillation des PAM passe, cependant, par la maîtrise de tous

ces facteurs. Vue sous cet angle, la distillation des plantes aromatiques pour la production d'HE est aussi exigeante en technicité et en savoir-faire que n'importe quelle autre industrie agroalimentaire. Pour vraiment réussir dans ce domaine, on ne peut plus compter uniquement sur l'expérience du terrain aussi riche soit-elle.

## ANALYSE TECHNIQUE DE LA PRODUCTION DES PAM SÉCHÉES AU MAROC

### 1. INTRODUCTION

Du point de vue économique, les résultats globaux, pour le segment PAM séchées, en particulier les épices, aromates et produits d'herboristerie sont loin d'être négligeables: 200 millions de DH/an environ (Tableau 8, Chapitre 2). Mais les potentialités naturelles et socio-économiques du Maroc ainsi que les perspectives du marché international sont bien plus importantes (*Cf.* Chapitres 1 & 2).

Pour pouvoir profiter de ces potentialités, la profession des PAM au Maroc a besoin, entre autres, d'un grand effort pour moderniser son activité et améliorer son image de marque. En particulier, il a été souligné la nécessité de développer les techniques de séchage pour améliorer la qualité des produits finis (*Cf.* § 5.1, Chapitre 3).

Les techniques de séchage ainsi que la qualité commerciale des PAM séchées (*Cf.* Chapitre 4) permettent l'analyse de l'expérience marocaine. Cette activité présente certes des points forts, mais aussi des faiblesses. De la discussion des quatre principales étapes de la chaîne de fabrication de ces produits, on pourra établir un guideline pour la modernisation de cette filière.

### 2. SÉCHAGE

Les plantes aromatiques et médicinales récoltées par les villageois sont séchées soit en plein soleil, soit à l'ombre. Dans certains cas, le séchage est réalisé directement sur le sol sans aucune couverture de protection (Figure 50). Ce séchage naturel «primaire» présente plusieurs inconvénients. En effet, il nécessite de grandes superficies.



**Figure 50. Séchage naturel des plantes aromatiques directement sur le sol**

La durée de séchage est relativement longue avec les risques d'intempéries qui peuvent altérer irréversiblement le produit. La couleur de ce dernier est souvent altérée et la qualité hygiénique de la plante séchée n'est pas toujours excellente.

Le séchage dans ces conditions ne permet pas de se protéger contre les changements de température entre le jour et la nuit. Ceci facilite le développement des moisissures avec le risque que cela comporte.

Le produit séché dans de telles conditions est généralement chargé de matières étrangères (tiges, pierres, sable, poils et excréments d'animaux, etc.). Le taux d'impuretés peut atteindre jusqu'à 35-40% à l'entrée d'usine.

Ce type de séchage est amélioré dans certaines entreprises par diverses opérations:

- Le matériel végétal à sécher est étendu sur un sol couvert d'une bâche ou, au moins, bien nettoyé des cailloux, pierres, poussière, ... Dans certains cas, on a noté l'utilisation de couverture, plus ou moins efficace, servant à protéger le produit, le soir, contre la rosée ou tout risque de reprise d'humidité. On utilise, ainsi, des bâches ou d'autres moyens pouvant assurer cette protection. À Marrakech, par exemple, plusieurs unités travaillent de cette façon.
- Dans certains cas, surtout pour les produits nobles et faciles à sécher, comme la verveine et le laurier sauce, le produit est séché sous forme de «bouquets» accrochés à des supports dans des abris aménagés à cet effet.

### 3. NETTOYAGE

Le nettoyage consiste à éliminer les tiges, les pierres, le sable, la poussière ainsi que d'autres corps étrangers. On retrouve, chez la profession marocaine des PAM séchées, trois techniques différentes plus ou moins efficaces.

#### 3.1. Technologie traditionnelle

Dans le secteur traditionnel au Maroc, le nettoyage est assuré à l'aide de tamis manuels (Figure 51). Ce travail est généralement confié à des femmes. Ces dernières complètent le tamisage par le tri et la séparation manuelle des tiges, feuilles et fleurs. Le nettoyage peut être amélioré par l'utilisation de sasseurs-tamiseurs munis de tamis de différents calibres et de ventilateurs pour l'élimination de la poussière.

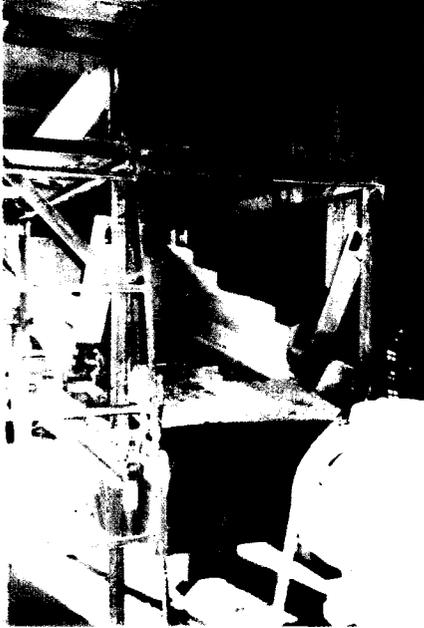


Figure 51. Nettoyage des plantes aromatiques à l'aide de tamis manuels

#### 3.2. Technologie intermédiaire

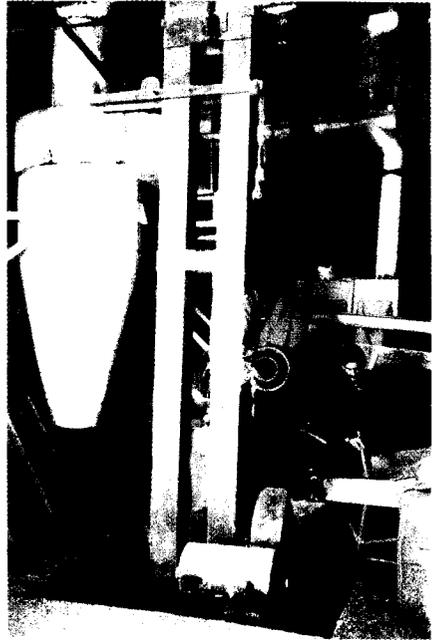
Dans la région de Ouezzane, de Marrakech et de Casablanca, des professionnels utilisent des appareils plus efficaces pour éliminer les différentes impuretés. Le système peut être composé d'un simple sasseur constitué de deux tamis superposés (Figure 52). Ainsi, dans le cas du romarin, on utilise deux tamis: le premier a des mailles de 3 à 5 mm et le deuxième de 1 mm de diamètre. Le premier tamis

permet de retenir et d'éliminer les gros débris et corps étrangers. Le deuxième laisse passer et élimine les brisures et les poussières diverses. Il est évident que le choix des tamis utilisés dépend de la



**Figure 52. Sasseur composé de deux tamis superposés**

plante et de la qualité exigée par le cahier des charges. Le nettoyage peut être amélioré par l'ajout d'un broyeur<sup>1</sup> - quand cela est possible - et d'un aspirateur de poussière (Figure 53).



**Figure 53. Aspirateur de poussière -->**

Le produit sec brut arrive, à l'usine, chargé de poussière, de sable, de pierres, de tiges et de branches de grandes dimensions. Pour réduire les tiges et les branches, on procède au broyage de la matière première. Le broyeur est couplé à un aspirateur pour l'élimination de la poussière. Après broyage, le produit est acheminé mécaniquement vers le sasseur. Ce dernier est constitué de trois tamis disposés sur un même plan incliné (Figure 54).

<sup>1</sup> Certains produits ne doivent pas être broyés. Leur qualité commerciale est d'autant plus grande que les feuilles sont intactes. C'est le cas de la verveine feuille à feuille ou standard, le romarin ou l'origan



**Figure 54. Sasseur constitué de 3 tamis disposés sur un plan incliné**

Les trois tamis peuvent être de même calibre ou de calibres différents. Quand ils sont de même calibre, la séparation se fait de la façon suivante: les pierres, le sable et la poussière sont éliminés alors que les feuilles sont retenues. Les tiges retenues avec les feuilles sont amenées grâce à la vibration mécanique du sasseur, au bout inférieur des tamis d'où elles sont récupérées séparément. Les tamis de calibres différents permettent de sélectionner les produits - débarrassés de leurs impuretés moyennant les tamis de même calibre - selon la taille des feuilles. Cette dernière dépend des mailles des différents tamis.

Cette opération de nettoyage peut être continuée, par la suite, dans un pyrateur (Figure 55). Ce dernier est équipé d'un ventilateur qui permet de séparer les produits végétaux recherchés (feuilles par exemple) des autres impuretés. Après broyage et tamisage, la plante est versée dans le pyrateur. Les feuilles légères suivent alors la direction de l'air soufflé par le ventilateur et sont ainsi séparées des autres impuretés. Tout ce qui est lourd (pierres, sable, etc.) tombe et la poussière est aspirée par un aspirateur.



**Figure 55. Photo d'un pirateur**

### **3.3. Technologie moderne**

Pour produire des plantes séchées qui répondent aux normes internationales les plus exigeantes, certaines sociétés exportatrices au Maroc ont investi dans de nouvelles chaînes de production et plus particulièrement de nettoyage. Cette opération peut alors être découpée en trois étapes. Trois appareils sont mis en action: un pré-nettoyeur, un sélectionneur et un calibreur (Figure 56).

À la réception - selon son taux d'impuretés- la matière première brute peut être acheminée directement vers la chaîne de nettoyage ou peut subir préalablement le broyage et le tamisage au niveau du sasseur.

En effet, lorsque la matière première est chargée d'impuretés, elle doit, d'abord, être broyée pour réduire la taille des branches et tiges. Elle est ensuite tamisée pour diminuer sa charge en impuretés. Cette démarche permet de protéger les appareils de nettoyage moderne, utilisés dans le reste de la chaîne de fabrication.



**Figure 56. Unité de nettoyage des plantes aromatiques composée d'un pré-nettoyeur, d'un sélectionneur et d'un calibreur**

La nouvelle chaîne de production est composée de:

- Une fosse munie d'une grille qui sert à retenir les grosses impuretés. La fosse est directement liée à un aspirateur qui sert à éliminer les poussières (Figure 57).
- Un pré-nettoyeur constitué, d'une part, d'un aspirateur permettant d'enlever la poussière et, d'autre part, d'une grille en forme cylindrique qui, en tournant, permet de séparer les feuilles des autres impuretés (Figure 58). Ces dernières sont recueillies dans une conduite (sac bleu dans la photo) alors que les feuilles sont récupérées dans une 2<sup>ème</sup> conduite (sac jaune dans la photo) (Figure 59).
- Un sélectionneur constitué de 15 tamis disposés à 3 niveaux: 6 au premier niveau, 6 au deuxième et 3 au dernier niveau de haut vers le bas (Figure 60). Les calibres des tamis sont de 3.5; 3 et 2.5 mm de haut vers le bas. Le sélectionneur permet de séparer les feuilles des impuretés qui les accompagnent encore et de sélectionner différentes qualités du produit séché selon la taille des feuilles et le taux de petites tiges.
- Un calibreur est un appareil constitué de 4 cylindres munis de vis sans fin qui acheminent la matière première en continu (Figure

61). Les cylindres, en tournant, permettent de sélectionner les différentes qualités selon la taille des feuilles. Ils permettent également de compléter le nettoyage et d'éliminer les dernières impuretés.



**Figure 57. Fosse munie d'une grille pour retenir les grosses impuretés**



**Figure 58. Pré-nettoyeur**



**Figure 59. Système de récupération des impuretés et des feuilles (photo de droite)**



Figure 60. Sélectionneur

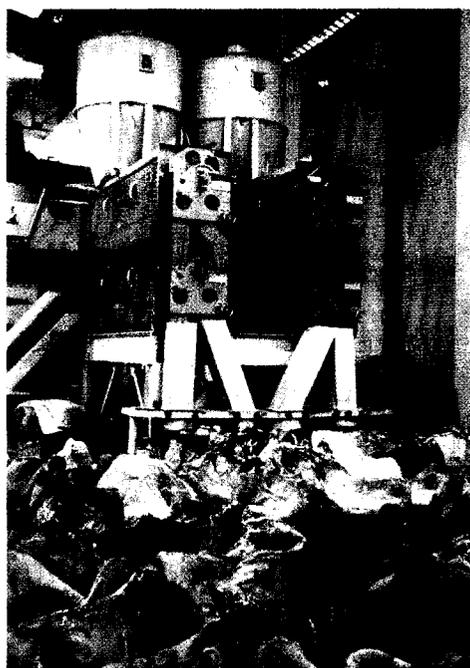


Figure 61. Calibreur ----->

La matière première, ayant traversé le pré-nettoyeur, le sélectionneur et le calibreur, est débarrassée de la presque totalité des impuretés. Grâce à ce système de nettoyage, le taux des impuretés passe de 35% dans la matière première à 0,2% dans le produit fini.

#### 4. CONDITIONNEMENT ET EMBALLAGE DES PLANTES

Plusieurs matériaux d'emballage sont utilisés. La nature et le volume d'emballage dépendent de la quantité et de la destination du produit séché. Ainsi, au Maroc, la majorité des plantes séchées -destinées au marché local ou à l'export - sont emballées dans des sacs en jute ou en polypropylène ayant une capacité de 35 à 50 kg (Figure 62).

Les produits fragiles comme la verveine feuille à feuille, sont conditionnés dans des cartons. Les plantes séchées destinées aux consommateurs directs (distribution aux grandes surfaces et herboristes modernes) sont présentées en sachets dont la masse varie de 100 g à 500 g. Elles sont conditionnées dans des sachets en

plastique pour produit alimentaire ou en aluminium sous vide. La confection de tels sachets nécessite un appareil d'ensachage sous vide. Les mêmes produits peuvent être conditionnés dans des flacons en verre ou en plastique.

Quelle que soit la forme d'emballage et de conditionnement, les produits sont ensuite stockés dans des locaux (hangars) aérés et ventilés. La durée de stockage peut aller de 3 à 6 mois selon la demande du marché.



Figure 62. Stockage du produit fini

## 5. TECHNOLOGIE DE LA TISANERIE

La production de tisanes est une étape bien avancée de la valorisation de certaines PAM séchées. Actuellement, une seule société au Maroc élabore ce type de produits. La description qui suit est relative à la chaîne de fabrication de cette société.

Quinze plantes sont utilisées pour la réalisation de différents produits commercialisés:

- Sept de ces plantes sont achetées auprès de fournisseurs marocains: verveine, écorce et feuilles de bigaradier, menthe douce, fleur d'oranger, frêne, fruit de l'églantier (Cynorrhodon).

- Huit autres plantes sont importées. Il s'agit de la camomille matricaire (pétales), pommes déshydratées, tilleul officinal, reine des prés, menthe poivrée, réglisse, queue de cerise, hibiscus. Certaines infusions sont aromatisées par l'ajout d'arômes appropriés: cerise, mûre des bois, cassis, abricot de verger, vanille, fraise, mandarine, citron cassis, banane, framboise, citron, fraise et prune.

### 5.1. Réception de la matière première

Les plantes arrivent à l'usine dans des sacs en polypropylène de 50 kg. À la réception, elles sont pesées et stockées par lots (Figure 63). Chaque lot est identifié par une étiquette mentionnant:

- Le numéro du lot
- Le fournisseur
- La date de réception
- Le poids net

Les arômes sont conservés au frais (à 8°C) dans une chambre froide. Le stockage ne doit pas dépasser six mois pour éviter la perte des principes actifs.

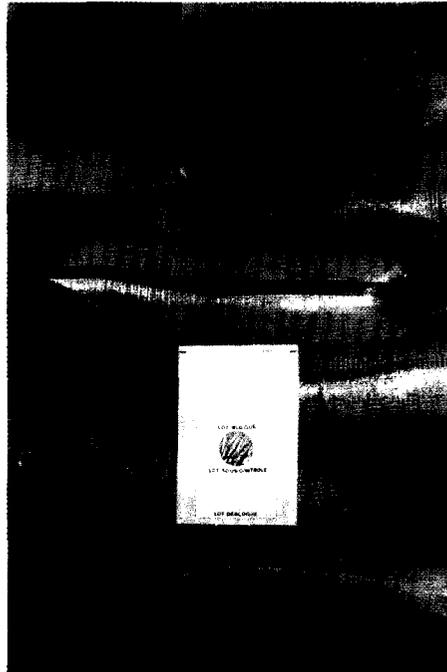


Figure 63. Stockage de la matière première

### 5.2. Préparation des infusions

#### 5.2.1. Concassage et nettoyage

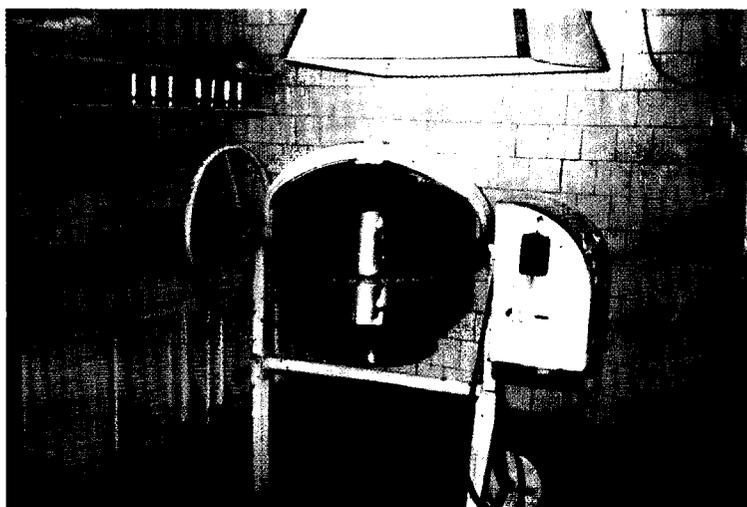
Après réception des plantes, on procède à leur nettoyage à l'aide de tamis manuels de différents calibres. Le travail est accompli par des femmes. Le nettoyage est complété dans un sasseur qui permet d'éliminer les dernières impuretés (poussière, tiges, branches, etc.). Ensuite, les feuilles, graines et écorces sont concassées à l'aide d'un moulin électrique, afin de réduire leur taille et de permettre leur mélange.

### **5.2.2. Mélange des plantes**

Les plantes concassées sont mélangées à l'aide d'un malaxeur à tambours (Figure 64). On procède, selon la nature de l'infusion, au mélange de deux ou plusieurs plantes. Les infusions peuvent être aromatisées ou non. Pour les infusions aromatisées, le mélange des plantes avec les arômes (liquides ou solides) se fait à l'aide d'un malaxeur (Figure 65).

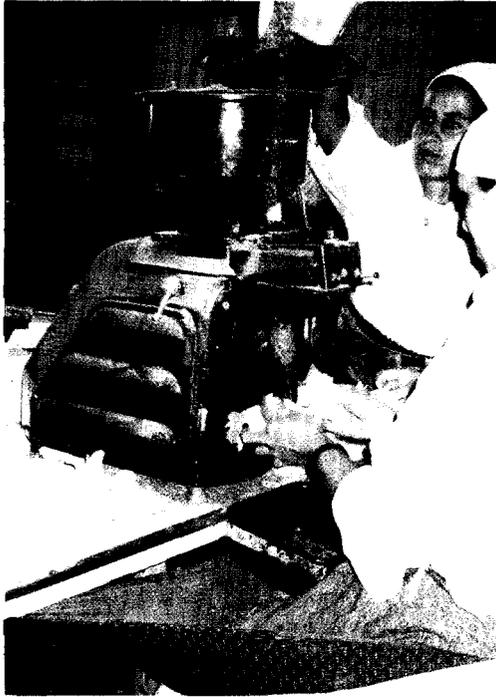


**Figure 64. Malaxeur à tambours pour le mélange des plantes**



**Figure 65. Malaxeur à tambours pour le mélange des plantes avec les arômes**

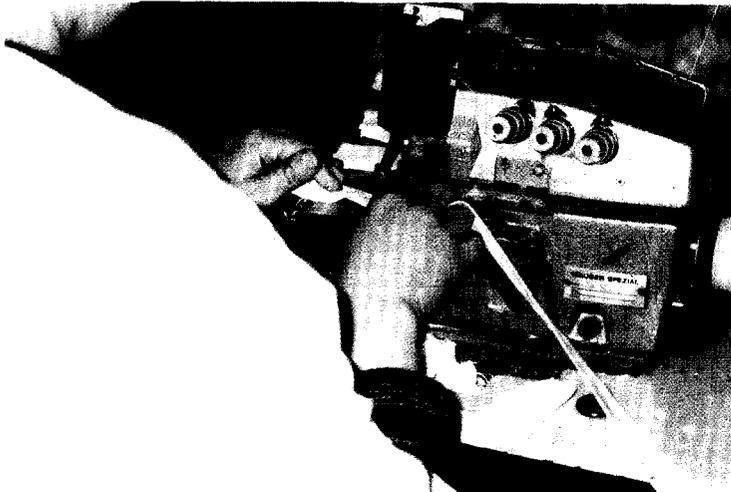
### 5.2.3. Conditionnement et stockage



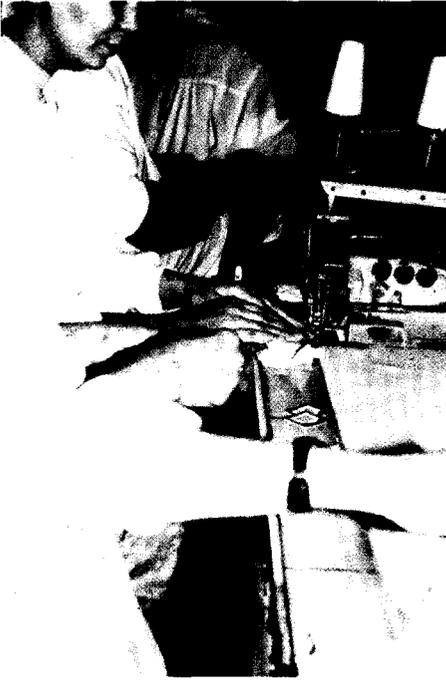
Après le mélange (et l'aromatisation éventuelle) des plantes, on procède au remplissage des sachets moyennant une doseuse réglée suivant le volume/poids des infusions en cours de fabrication (Figure 66). Exemple: camomille 0,6 g par sachet.

Les sachets sont confectionnés sur place, à l'aide de tissu étamine. La coupe se fait en sachets ouverts dont un côté sera cousu lors de la confection et l'autre après le remplissage ou le conditionnement en même temps que la couture de l'étiquette (Figure 67).

**Figure 66. Remplissage des sachets à l'aide d'une doseuse**



**Figure 67. Confection des sachets d'infusettes**

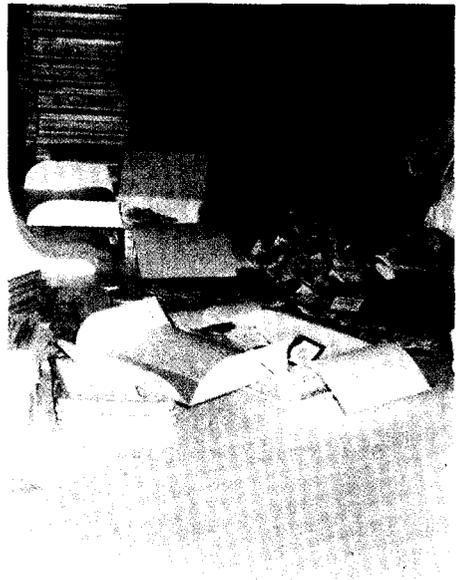


**Figure 68. Étiquetage des sachets**

Les sachets étiquetés sont ensuite mis en boîte. Après le pesage, on procède au marquage de ces boîtes en mentionnant le numéro du lot et la date de fabrication.

Les boîtes sont enveloppées dans du polypropylène et mises dans des cartons (Figures 68, 69 & 70)

Ces derniers sont placés sur des palettes et stockés dans une salle aérée et à peine illuminée.



**Figure 69. Mise en boîte des sachets d'infusettes**

### **5.3. Analyses de laboratoire**

Dans ce type d'activité, le contrôle de la qualité de la matière première et du produit fini est obligatoire. Pour ce faire, un laboratoire bien équipé est nécessaire.



Figure 70. Pesage des boîtes d'infusettes

### 5.3.1. Matière première

Pour contrôler la qualité de la matière première, les analyses suivantes sont requises:

- Analyses microbiologiques: il s'agit de rechercher la présence de colibactéries, des salmonelles, des pseudomonas, des staphylocoques, des levures et moisissures (les normes appliquées sont celles qui sont fixées par l'AFNOR ou l'ISO).
- Détermination du taux de pesticides par chromatographie en phase gazeuse ( 0,1 ppm).
- Contrôle botanique: vérification de l'espèce.
- Évaluation de la fraîcheur de la plante, déterminée par la teneur en huile essentielle, moyennant une hydrodistillation.

### 5.3.2. Produit fini

Les infusions sont contrôlées par des tests organoleptiques par rapport à un témoin (couleur, odeur, goût). Les responsables du laboratoire sont chargés de la surveillance du respect strict des normes d'hygiène au sein de l'usine. Ces normes sont très précises et tout le monde à l'usine a l'obligation de les respecter.

## 6. CONCLUSION

Sur le plan technique, la production au Maroc des PAM séchées - utilisées comme épices, aromates ou comme produits d'herboristerie - soulève trois remarques essentielles.

La technique de séchage (première étape de la chaîne de fabrication des PAM séchées après la récolte), mérite une attention particulière. Le séchage naturel, directement au soleil ou même à l'ombre, n'autorise aucun espoir d'exceller dans la qualité. Cette question constitue, le point de départ de toute politique de modernisation de ce segment du secteur. Sinon, il sera difficile de gagner le pari de la qualité et même de la quantité.

Le nettoyage (deuxième étape de la chaîne de fabrication) se présente aujourd'hui, au Maroc, comme une mosaïque de plusieurs techniques qui se côtoient dans la même profession. Certains producteurs utilisent encore des techniques très simples et artisanales. D'autres ont déjà compris la nécessité d'améliorer leurs procédés de fabrication pour pouvoir accéder à un marché international de plus en plus exigeant. Pour ce faire, ces professionnels ont introduit de nouveaux équipements plus performants et de meilleure efficacité. Ces nouvelles chaînes de fabrication doivent constituer le modèle à suivre pour l'ensemble de la profession.

La fabrication d'infusettes est une activité tout à fait nouvelle pour les professionnels marocains. Elle est réalisée aujourd'hui par une filiale d'une maison étrangère. Cette expérience est un exemple des possibilités pour une meilleure valorisation des PAM. Cette expérience donne, par ailleurs, une idée sur la démarche à suivre pour un établissement moderne dans le secteur (l'organisation de la chaîne de production, la traçabilité des produits élaborés, les analyses et la qualité des produits,...).

## ANALYSE TECHNIQUE D'UNE EXPÉRIENCE DE DISTILLATION DES PAM

### 1. INTRODUCTION

Au Maroc, plusieurs professionnels exercent, déjà, une importante activité de production d'HE. Cette activité qui a démarré, à l'échelle industrielle, au courant des années 20 du siècle dernier, n'a cessé de se développer depuis cette date. Elle représente aujourd'hui un chiffre d'affaires de l'ordre de 158 millions de DH/an (Cf. Figure 2; Chapitre 2).

À la lumière des différentes contraintes scientifiques, techniques et technologiques pour la maîtrise de la distillation des PAM (Chapitres 6, 7 et 8), on analysera, sur le plan technique, cette expérience pour relever ses performances et ses faiblesses.

La presque totalité des distillateurs marocains exploitent des plantes aromatiques spontanées: armoise, romarin, thym saturéoïde, «thym» de Terguiste, myrte, origan, laurier, etc. Ils utilisent pour ce faire les mêmes techniques à savoir la vapohydrodistillation grâce à des alambics mobiles, à feu nu. Les conducteurs des chantiers de distillation ne disposent généralement que de leurs expériences sur le terrain. Ils ignorent souvent l'importance de tous les facteurs pouvant influencer l'efficacité quantitative et qualitative de leur distillerie (Cf. Chapitre 8). Il existe, certes, certaines installations fixes distillant des plantes de culture comme l'oranger amer ou même certaines plantes spontanées comme *Ormenis mixta* ssp. *multicaulis*. Il existe également des installations fixes relativement sophistiqués réservées à la distillation de produits nobles comme la rose dans la vallée de Dadès. Toutefois, en pratique, la première catégorie (alambic à feu nu traditionnel, transportable suivant la disponibilité du matériel végétal) reste la plus répandue chez les distillateurs marocains. Dans cette évaluation, ne seront pas prises en compte quelques filiales de maisons étrangères installées depuis quelques années au Maroc.

## 2. ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Il s'agit, comme on vient de le signaler d'équipements simples, facilement transportables d'un endroit à un autre.

### 2.1. Alambic

Les alambics utilisés sont sous forme de cylindres de 2 m de hauteur et 1,50 m de diamètre (en général) confectionnés avec des tôles en fer noir de 2 à 2.5 mm d'épaisseur. Ce cylindre est partagé en deux parties: la partie inférieure (50 cm de hauteur environ) contient de l'eau pour la production de vapeur (partie «chaudière»). Celle-ci est séparée du reste de l'alambic par une grille métallique qui supporte la biomasse végétale à traiter (Figure 71).

### 2.2. Couvercle

Amovible, le couvercle est serré sur l'alambic par un système d'agrafes métalliques. Ce système est parfois remplacé par des tiges filetées à volons (Figure 72). L'étanchéité est assurée par des joints flexibles et complétée par de l'argile sous forme de boues suffisamment épaisses pour colmater les fuites éventuelles de vapeur.

La vapeur d'eau produite dans la partie «chaudière» traverse la biomasse végétale, se charge en constituants volatils de la plante et quitte l'alambic par le col de cygne pour entrer dans le système de réfrigération (Figure 71).

### 2.3. Système de réfrigération

Le système de réfrigération est constitué d'un serpentin formé de tubes cylindriques en zigzag (Figure 73) qui plonge dans un bassin d'eau, généralement construit en terre et alimenté par un courant d'eau continu (Encadré 30). L'eau est prise dans l'oued sur le lit duquel est installée l'unité de distillation, grâce à une déviation construite pour cet objectif (Figure 74). Parfois, le serpentin est placé directement dans le cours d'eau naturel (Figure 75). Dans d'autres cas, le bassin est alimenté manuellement et de façon discontinue. Parfois, ce bassin est construit en béton et alimenté en eau par pompage (Figure 76). Dans tous les cas, le condensat est récupéré dans un essencier, lui aussi, de conception très simple (Figure 77; Encadré 31).

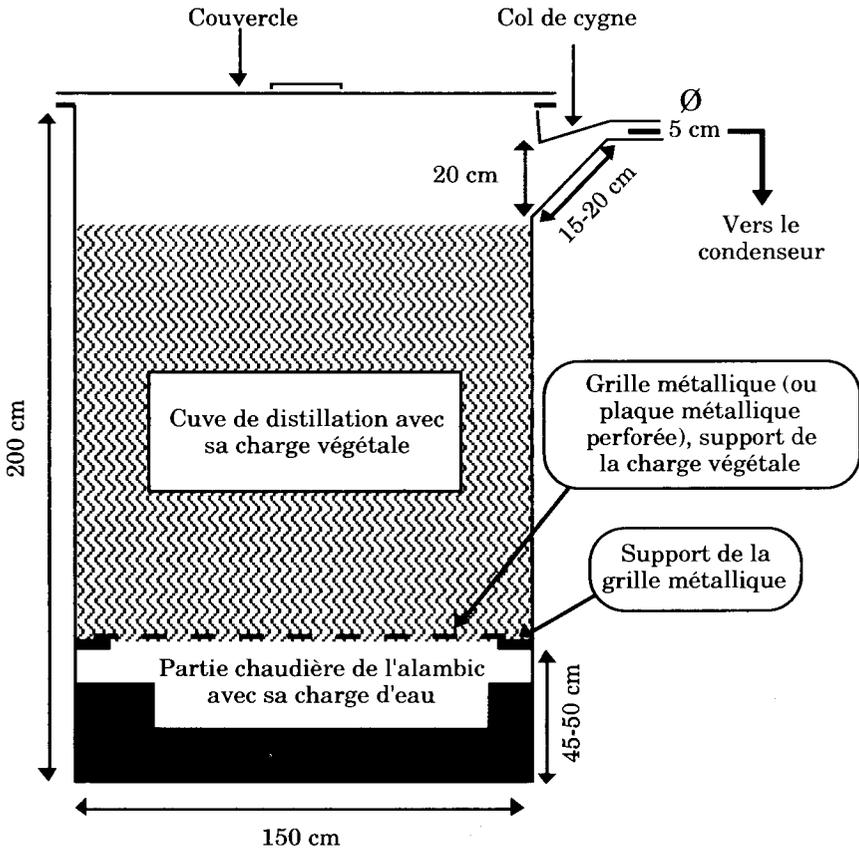


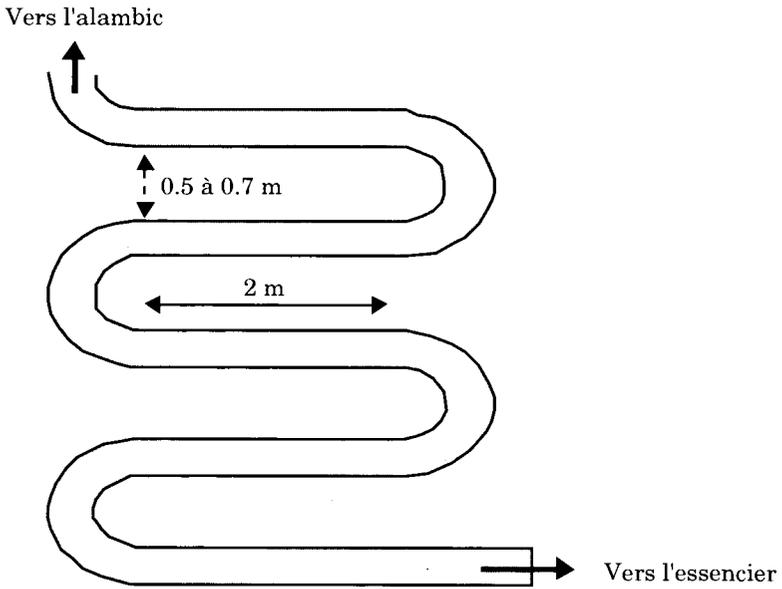
Figure 71. Schéma d'un alambic classique utilisé au Maroc pour la distillation des plantes aromatiques

Fermeture avec des tiges  
filetées à volants----->

Fermeture avec des agrafes métalliques



Figure 72. Systèmes de fermeture des alambics couramment utilisés par les professionnels marocains



**Figure 73. Serpentin en zigzag utilisé par les distillateurs traditionnels marocains**



**Figure 74. Condenseur constitué d'un serpentin en zigzag plongé dans un bassin artificiel construit en terre**

**Encadré 30. Condenseurs utilisés par les distillateurs traditionnels**  
(Vérification du dimensionnement)

1. D'après la figure 73, la longueur du tube est de 12 m environ.
2. Le diamètre du tube est généralement de 2" ou 1.5" (50.4 mm ou 38.1 mm)
3. Pour les plantes classiques (romarin, armoise, etc.), le débit de vapeur moyen est, souvent, le même que celui qui est utilisé dans l'encadré 27, soit 36.7 kg de vapeur par heure. Dans ces conditions, on peut faire les remarques suivantes:

- a. Cas des tubes de 2" de diamètre.

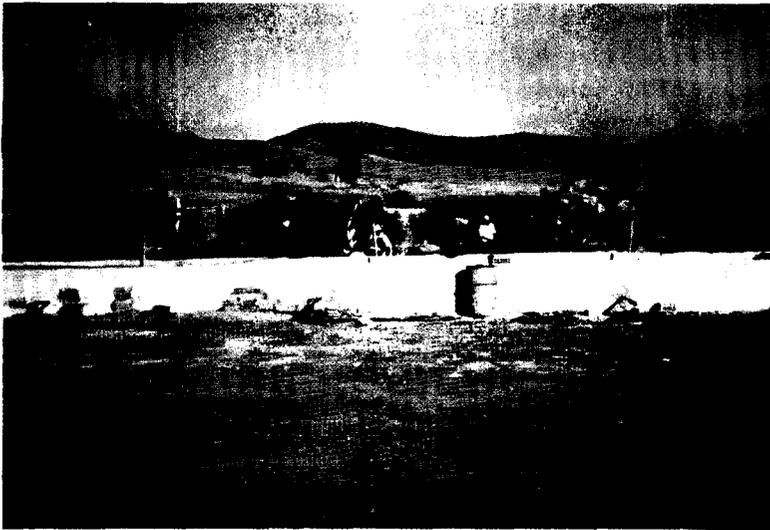
$$Q_c = Q_v \cdot 600 = U \cdot S \cdot \Delta\theta$$

$Q_v$ ,  $U$  et  $S$  étant connus, on peut calculer  $\Delta\theta$  et, donc, la température d'eau de refroidissement à la sortie du condenseur (quand le condenseur est correctement utilisé). Ce calcul montre que le diamètre du tube utilisé (2") et sa longueur (12 m) sont suffisants pour sortir l'eau de refroidissement à 60°C environ, soit une consommation en eau froide de 550 kg/h (Cf. Encadré 27)

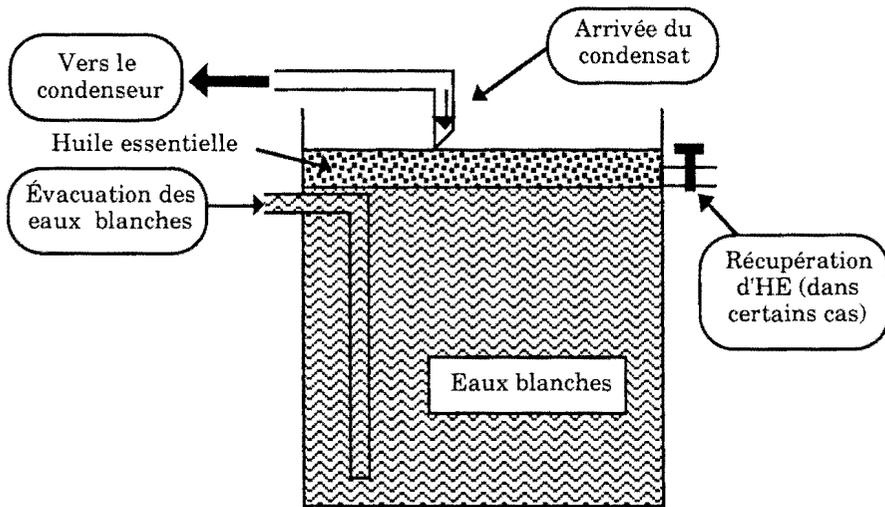
- b. Cas des tubes de 1.5" de diamètre. Les mêmes calculs que précédemment montrent que ce condenseur ne peut sortir l'eau de refroidissement qu'à moins de 40°C. La consommation de cette dernière est, ainsi, de plus de 1100 kg par heure (Encadré 27). Sinon, il faut réduire le débit de vapeur et donc augmenter la durée de distillation.
- c. La prolongation de la durée de distillation peut avoir des effets néfastes (abstraction faite du problème de coût) sur la qualité des HE obtenues. Certains constituants des HE sont particulièrement labiles. Ils sont sensibles à la température surtout en milieu aqueux. Cette labilité est accrue en milieu acide. De nombreux esters, par exemple, sont hydrolysés dans ces conditions. Les risques de dégradation augmentent quand le temps de séjour des constituants concernés, dans les conditions physico-chimiques favorables, augmente.



**Figure 75. Condenseur constitué d'un serpentín en zigzag plongé dans un cours d'eau naturel**



**Figure 76. Condenseur avec bassin artificiel construit en béton**



**Figure 77. Essencier pour la récupération des huiles essentielles, fréquent chez certains distillateurs traditionnels des plantes aromatiques au Maroc**

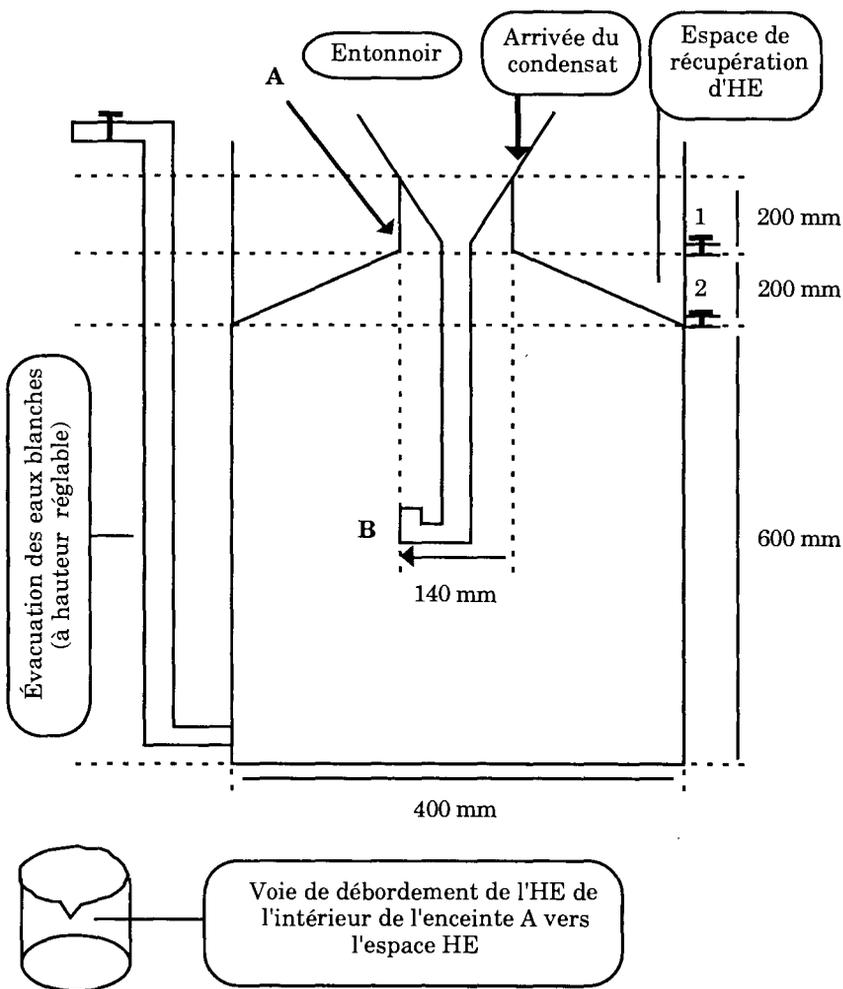
Remarque: Les volumes de ces essenciers varient entre 30 et 80 litres

Par décantation, l'huile essentielle se sépare de l'eau et flotte à la surface. À la fin de l'opération, on récupère l'huile à l'aide de divers moyens.

Il n'y a jamais de colonne de rectification. Le calorifugeage n'est jamais pratiqué. Toutefois une tradition courante chez les distillateurs marocains peut être assimilée à une forme de calorifugeage indirect: l'alambic est enterré dans le sol jusqu'aux environs des deux tiers, voire les trois quarts de sa hauteur (Figure 78).

Cette pratique, quoiqu'elle soit utilisée pour d'autres objectifs (faciliter le chargement et le déchargement de l'alambic et faciliter l'accès à l'eau de refroidissement pour le condenseur), peut être considérée comme moyen de calorifugeage. Mais elle ne concerne qu'une partie de l'alambic et jamais les conduites de vapeur de ce dernier vers le condenseur. La surface d'échange thermique entre la partie «chaudière» de l'alambic et le foyer est un autre facteur qui doit être optimisé dans ce type de montage (Encadré 32).

**Encadré 31. Proposition d'un schéma d'essencier simple à réaliser et à monter (pour les HE plus légères que l'eau)**



**Légende:**

1: Récupération d'HE propre et 2: Récupération d'HE moins propre (plus ou moins mélangée avec de l'eau par exemple).

A: Partie de l'essencier où est collectée l'HE avant son débordement vers l'espace à HE

B: Cette terminaison de l'entonnoir facilite la décantation des HE (pour les HE plus légères que l'eau)

**Encadré 32. Recommandations pour le montage d'un alambic à feu nu fonctionnant en vapohydrodistillation**

1. Calorifugeage

Le calorifugeage de l'alambic et des conduites menant au condenseur est recommandé à chaque fois que la température extérieure est trop basse ou que la distillerie est exposée à des vents importants. Si non, on perd en rendement et on prolonge inutilement la durée de la distillation. Il faut, toutefois, surveiller la qualité de l'HE (couleur en particulier)

2. Optimisation de la surface d'échange thermique pour la production de vapeur

Le système de distillation traditionnelle (vapohydrodistillation à l'aide d'alambic à feu nu) conduit à des consommations énergétiques anormalement élevées (voir Encadré 33). Une des possibilités de réduire les pertes en énergie serait d'augmenter la surface d'échange thermique au niveau de la partie «chaudière» de l'alambic.

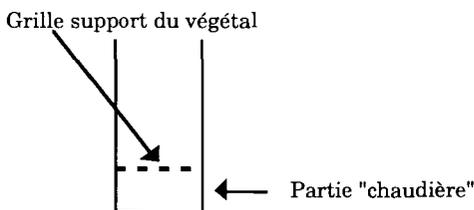
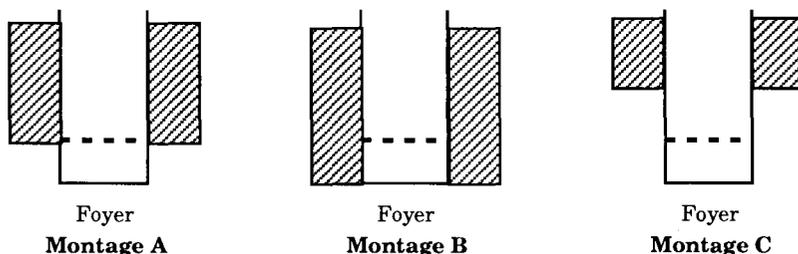


Schéma d'un alambic



Schémas de montage d'alambics à feu nu (Optimisation de la surface d'échange thermique)

 Sol et partie de l'alambic couverte par la terre, l'alambic étant enfui dans le sol (pratique courante chez les distillateurs utilisant ce type de technologie).

Montage A. Surface d'échange optimale (4.13 m<sup>2</sup> pour l'alambic de la figure 71)

Montage B. Montage incorrect. La surface d'échange n'est que de 1.77 m<sup>2</sup> (cas de l'alambic figure 71)

Montage C. Montage fortement déconseillé à cause des risques de surchauffe au niveau de la paroi latérale de l'alambic au contact du matériel végétal, ce qui peut entraîner la dégradation de l'HE (mauvaise couleur, mauvaise odeur, goût et odeur de brûlé, ...).



**Figure 78. Pratique courante au Maroc pour la distillation des PAM: montage des alambics dont une bonne partie est enterrée**

### **3. PROCÉDÉ DE DISTILLATION**

La vapohydrodistillation est le procédé le plus largement utilisé par les professionnels marocains. Or, ce procédé n'est pas toujours le mieux indiqué pour tous les cas (Cf. Tableau 33; Chapitre 8). En particulier, à chaque fois qu'on a la possibilité d'installer une chaudière pour la production de vapeur séparément de l'alambic (installation fixe par exemple), il ne faut pas hésiter à le faire. Une telle installation permettrait de mieux protéger certains constituants nobles de l'huile essentielle des phénomènes de dégradation dus au contact de la matière végétale avec des points de surchauffe sur la paroi métallique de l'alambic. Elle permet également de mieux maîtriser la consommation énergétique de la distillerie. Ce procédé de vapohydrodistillation utilisé par la plupart des professionnels marocains peut être décrit comme suit.

#### **3.1. Montage de l'alambic pour la distillation**

L'alambic est généralement enterré dans la terre jusqu'aux deux tiers de sa hauteur environ. Sous l'alambic est ménagé un foyer pour la production d'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau dans la

*partie «chaudière». La vapeur produite circule de bas en haut au travers de la masse végétale et entraîne, dans son trajet, les constituants volatils de la plante. Du côté opposé au foyer, on installe une petite cheminée pour l'élimination des gaz de combustion. On installe généralement l'alambic sur le bord d'un oued, ce qui permet:*

- l'enterrement d'une partie de l'alambic,
- l'aménagement d'un foyer accessible facilement,
- l'accès à un système de réfrigération simple (Figure 79 ).

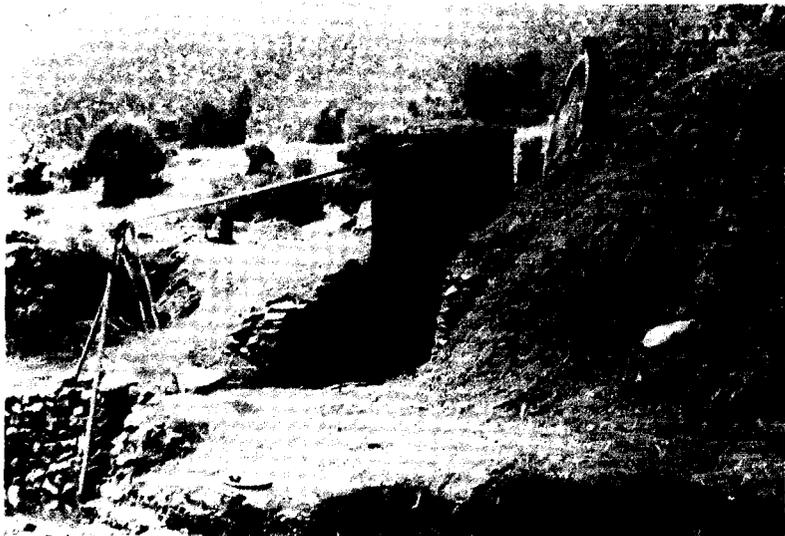


Figure 79. Montage d'un alambic sur le flanc d'une rivière

### 3.2. Opération de mise en distillation

Le procédé de mise en distillation peut être résumé comme suit:

- On remplit d'eau la partie inférieure de l'alambic, par le haut et manuellement à l'aide d'un sceau.
- On charge l'alambic proprement dit avec le matériel végétal, toujours manuellement à l'aide de fourches. Le tassement est réalisé par les ouvriers qui montent régulièrement dans l'alambic au-dessus du matériel végétal (foulage au pied) (Figure 80).

L'arrivée de vapeur en même temps que le foulage à pied facilite l'opération de tassement.

- Une fois le chargement terminé, on ferme le couvercle de l'alambic et on essaie d'assurer autant que possible l'étanchéité avec des agrafes métalliques et de l'argile sous forme de boue.



**Figure 80. Tassement de la charge de l'alambic par foulage aux pieds**

- On met en marche le chauffage pour la production de la vapeur nécessaire à l'entraînement de l'huile essentielle.
- Après 3 à 4h (cas du myrte, romarin, armoise,...), on arrête le chauffage et on ouvre l'alambic. On laisse refroidir un certain temps.
- *On procède au déchargement manuel de l'alambic (à l'aide d'une fourche toujours)*

- On ajoute l'eau froide dans la partie "chaudière" de l'alambic pour compenser la vapeur produite dans la distillation précédente.
- On recharge l'alambic en matériel végétal comme précédemment et ainsi de suite.

### 3.3. Avantages et inconvénients de ce type de technologie

Ce système de distillation a l'avantage d'être simple d'utilisation, peu coûteux et facilement transportable. Mais il comporte beaucoup de points faibles:

- Le chauffage direct à feu nu peut créer des points de surchauffe le long de la paroi métallique de l'alambic et donc favoriser l'apparition d'artefacts en particulier la note de brûlé dans le produit final.
- Le système n'utilise pas de façon optimale l'énergie produite par la combustion du bois ou toute autre source d'énergie. Les gaz de combustion qui s'échappent de la "cheminée" sont encore très chauds. Ils peuvent être utilisés au préchauffage de l'eau à ajouter dans l'alambic par exemple.
- Trois contraintes sont généralement prises en considération lors de l'installation d'un montage de distillation comme celui-ci: (i) nécessité d'enterrement de l'alambic à plus de la moitié de sa hauteur, (ii) aménagement d'un foyer sous l'alambic facilement accessible et (iii) accès facile à une source de refroidissement généralement un cours d'eau naturel. La satisfaction de ces trois contraintes à la fois conduit parfois à des situations absolument incohérentes: le circuit d'acheminement de la vapeur chargée d'huile essentielle passe directement au-dessus des flammes sortant du foyer (*Cf.* Figure 79), ce qui favorise énormément la dégradation thermique du produit et affecte donc sa qualité en particulier sa couleur qui devient brune. L'huile essentielle produite dans ces conditions peut également acquérir une odeur et / ou un goût de brûlé.
- Le procédé utilisé consomme beaucoup de temps (*Cf.* § 3.2): une durée de distillation de 3 à 4 h pour le romarin est trop longue. Avec certains procédés modernes tel que le procédé HDF par exemple, cette durée est de 30 min seulement.
- Une durée de distillation trop longue se traduit par une consommation d'énergie globale anormalement élevée. Quand on ajoute cette donnée à celle de la non utilisation optimale de l'énergie produite par combustion, on comprend mieux combien ce système de distillation est déficient sur le plan énergétique.

- Le montage de l'alambic tel que décrit dans la figure 78 suggère trois remarques importantes:
- Une partie de l'alambic plus toute la conduite reliant ce dernier au condenseur ne sont pas calorifugés. Ceci conduit à des pertes thermiques non négligeables. Cette problématique prend toute son importance quand les conditions climatiques favorisent les pertes thermiques. C'est le cas en particulier lorsque la température extérieure est relativement basse ou lorsque la distillerie est exposée à un courant de vent important (*Cf.* § 2.4; Chapitre 7).
- À l'inverse, l'isolation pourrait avoir un effet négatif, au moins, sur la couleur de l'huile essentielle (*Cf.* § 2.2; Chapitre 8)
- Ce montage nécessite une attention particulière pour optimiser la surface d'échange thermique au niveau de la partie «chaudière». Soit l'alambic de la figure 71: lorsque toute la surface latérale de la partie enfouie dans le sol de cet alambic est directement couverte de terre, la surface d'échange est réduite à celle du fond soit 1.77 m<sup>2</sup> environ. Par contre, quand toute la partie «chaudière» reste accessible à l'échange thermique, cette surface est alors de l'ordre de 4.13 m<sup>2</sup> soit 2.3 fois plus que la valeur précédente. Le même montage peut exposer, directement aux flammes, plus que la hauteur de la partie «chaudière». Ceci porte un réel préjudice à la qualité de l'huile essentielle: surchauffe de la paroi au contact direct avec le matériel végétal et avec l'huile essentielle qui vient d'en être extraite (*Cf.* Encadré 32).
- Le procédé de distillation utilisé est pénible pour les ouvriers. On peut trouver des moyens simples de chargement/déchargement, moins pénibles et plus efficaces comme l'utilisation des palans pour au moins le déchargement de l'alambic. Cela suppose quelques équipements supplémentaires: un palan plus un panier (ou tout système équivalent) amovible qui permet le déchargement mécanique de la cuve de distillation. Ce ne sont pas des équipements difficiles à acquérir et à utiliser même pour des petites distilleries qu'on déplace souvent et dans des endroits isolés. Les technologies modernes ont toutes leurs propres systèmes de chargement/déchargement et même de tassement.
- Le serpentín en zigzag utilisé par les professionnels marocains pour leur système de refroidissement est certes peu efficace par comparaison au système hélicoïdal ou à tubes parallèles (*Cf.* Chapitre 7), mais il a l'avantage d'être d'utilisation très simple. Il suffit de le plonger dans un cours d'eau naturel, par exemple, pour réaliser l'opération de condensation recherchée. Un des

inconvénients majeurs de ce système réside dans la difficulté de son nettoyage. Cette opération est d'une grande importance lorsqu'on veut passer de la distillation d'une espèce végétale à une autre. Les traces des huiles essentielles de la première plante qui restent dans le serpentin peuvent contaminer les essences de la deuxième durant plusieurs distillations. Ces contaminations peuvent altérer les qualités organoleptiques, la couleur ainsi que la composition chimique de l'huile essentielle de la deuxième production. Le même serpentin en zigzag fait de plusieurs pièces détachables peut faciliter largement cette opération de nettoyage (Figure 81). Cette conception permettrait également de moduler la longueur du serpentin pour l'adapter aux conditions d'utilisation: température de l'eau de refroidissement, débit de vapeur, etc.

- La conception de l'essencier utilisé par de nombreux professionnels marocains (Cf. Figure 77) ne facilite pas la récupération de l'huile essentielle. Son remplacement par un appareil tel que décrit dans l'encadré 31 ne doit poser aucun problème technique pour les chaudronniers fournisseurs des professionnels marocains en équipements de distillation. Le surcoût qu'induirait le remplacement du premier appareil par le second, largement plus efficace, ne peut être que négligeable devant le coût de l'investissement global.

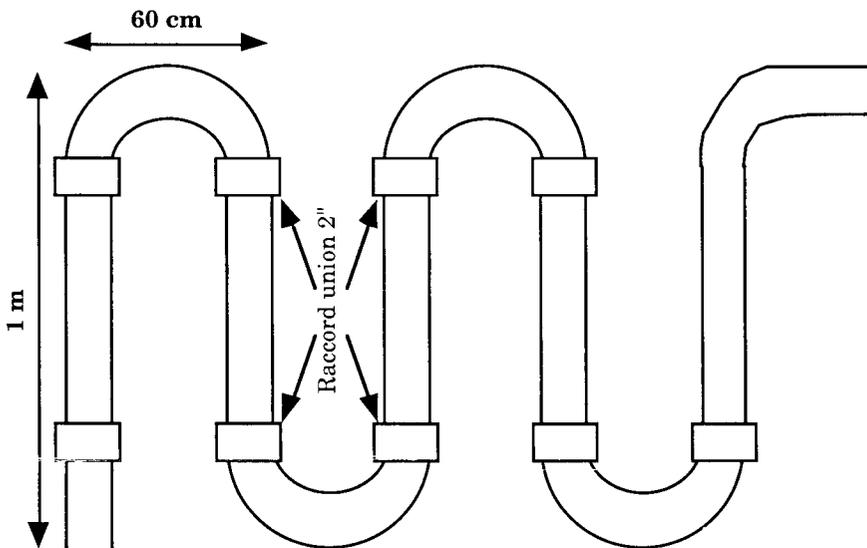


Figure 81. Schéma d'un serpentin en zigzag construit en plusieurs pièces amovibles

- De nombreux clients sont aujourd'hui très exigeants sur la qualité globale des produits. C'est le cas en particulier du secteur de l'aromathérapie. Ce dernier inclut aujourd'hui dans le concept de «qualité globale», la qualité du matériel utilisé pour la production de l'huile essentielle. Ainsi, le fer noir, même s'il est galvanisé, n'est pas facilement accepté. On lui préfère, de loin, l'acier inoxydable. Actuellement, les distilleries modernes adoptent ce métal pour leurs équipements (Cf. § 7; Chapitre 7).

#### 4. DURÉE DE DISTILLATION

Les professionnels marocains, qui exploitent les plantes aromatiques spontanées, admettent que la durée de distillation est de trois à quatre heures et ce, pratiquement pour toutes les plantes.

Cette vision soulève les remarques suivantes:

- On a vu précédemment (Cf. § 3.2; Chapitre 8) que:
  - \* La durée de distillation optimale varie d'une espèce végétale à une autre.
  - \* La durée de distillation affecte grandement le rendement en huile essentielle et la composition chimique de cette dernière (et par voie de conséquence sa qualité).
  - \* La durée pratique de la distillation peut être déterminée expérimentalement pour une espèce végétale donnée et un équipement donné.

Les professionnels marocains ne semblent pas être toujours conscients de cette problématique.

- La durée utilisée par les professionnels marocains ( 3 à 4 h) est trop longue pour de nombreuses espèces végétales. Les distillateurs du romarin dans l'Oriental utilisent des durées de 3 h. Avec des procédés modernes tel que le procédé HDF (Cf. § 7.2; Chapitre 7), cette durée est de 30 min. Certes, le coût du procédé n'a rien de comparable avec celui d'un alambic à feu nu. Toutefois, lorsqu'on tient compte du temps, de l'énergie et de l'eau qu'on consomme dans chaque cas, il n'est pas sûr que le procédé traditionnel reste toujours le mieux indiqué. Cette comparaison est faite en admettant que les rendements et les qualités des huiles obtenues sont identiques, ce qui n'est pas évident. Quelle que soit la qualité objective du produit obtenu, l'image de marque et la présentation d'une distillerie influent aujourd'hui beaucoup sur la qualité

commerciale du produit fini surtout pour certains clients très exigeants (aromathérapie, produits bio, etc.). Ces segments du secteur n'admettent plus, par exemple, que la distillation soit réalisée dans des alambics en fer noir et/ou à feu nu, même lorsque l'analyse chimique des produits obtenus ne fait pas apparaître de différences entre les deux procédés de distillation (alambics traditionnels en fer noir et alambics en acier inoxydable).

## 5. CHARGE DE L'ALAMBIC

Les principales données concernant la capacité de charge d'un alambic de distillation ont été précisées (Cf. § 2; Chapitre 6). Les distillateurs marocains rapportent que dans le cas du romarin, par exemple, la capacité de charge de leur alambic (3.5 m<sup>3</sup> environ) dépend de l'état d'humidité du matériel végétal. Elle varie de 600 kg à une tonne soit une charge de 170 à 285 kg /m<sup>3</sup>. Ces données sont à comparer à 200 à 250 kg/m<sup>3</sup> pour la lavande ( Moñuz, 1987) et 100 à 250 kg/m<sup>3</sup> pour l'eucalyptus (Cf. §2; Chapitre 6). Il semble ainsi que les professionnels marocains maîtrisent relativement bien l'opération de chargement de l'alambic.

## 6. CONSOMMATION DE VAPEUR

L'importance du débit (ou de la consommation globale) de vapeur, dans une opération de distillation de plantes aromatiques, a déjà été discutée (Cf. § 3.1; Chapitre 6). Le débit (ou la consommation globale) de vapeur optimal varie beaucoup d'un auteur à l'auteur suivant le végétal traité, le procédé de distillation utilisé et peut-être même, suivant l'objectif recherché. En effet, l'objectif visé pour évaluer le débit optimal de vapeur nécessaire à l'opération de distillation peut différer d'un opérateur à l'autre. On peut viser le meilleur rendement en huile essentielle, la meilleure qualité du produit obtenu ou encore les meilleurs rapports «coût/rendement» et/ou «coût/qualité commerciale du produit». Ainsi, on a noté une grande différence entre les résultats obtenus: 10% selon Moñuz (1987) contre 37.5%<sup>1</sup> selon nos propres résultats (pour un rendement en huile essentielle optimal) (Cf. §3.1; Chapitre 6).

---

<sup>1</sup> Les % sont exprimés par rapport au poids de la charge végétale (Masse de vapeur consommée/masse de la charge végétale) x 100.

Des résultats d'une enquête réalisée auprès des distillateurs du romarin dans la région de l'Oriental marocain, il ressort que la quantité de vapeur consommée pour la distillation est de l'ordre de 100 à 120 kg pour une charge d'alambic de 600 kg environ, soit un rapport de 17 à 20%. Certains distillateurs donnent des rapports beaucoup plus élevés (jusqu'à 30% environ). Ce niveau de consommation de vapeur est supérieur à celui de 10% rapporté par Moñuz (1987), mais il est inférieur à nos propres résultats (37.5%). Cependant, on n'a pas travaillé sur les mêmes plantes. Ainsi, on ne peut s'empêcher de recommander:

- une meilleure attention à ce facteur qui peut changer d'une plante à l'autre,
- une attention particulière aux nouveaux procédés modernes qui pourraient permettre de faire de grandes économies sur la consommation de vapeur et donc d'eau, d'énergie et de temps. Tel est le cas du procédé à bain-marie décrit précédemment (Cf. §7.1; Chapitre 7).

Dans cette discussion on a considéré plus la consommation globale de vapeur que son débit. Mais quand la durée de la distillation (Cf. § 3.2; Chapitre 8) et la masse de vapeur consommée sont maîtrisées, le débit de vapeur est déduit sans difficultés. À ce propos, tous les auteurs s'accordent à dire qu'il faut que le débit de vapeur soit le plus régulier possible durant toute l'opération de distillation.

## **7. TRAITEMENT DU MATÉRIEL VÉGÉTAL AVANT SA MISE EN DISTILLATION**

En général, les professionnels marocains exploitent essentiellement des espèces végétales herbacées (menthe pouliot, origan, ...) ou arbustes (romarin, myrte ...). Ce type de matériel végétal ainsi que les technologies mises en œuvre n'exigent pas de traitements particuliers de la biomasse végétale avant sa mise en distillation. Toutefois, il y a des cas particuliers qui demandent la prise en considération de l'état physique de la matière première à distiller. La sciure du bois de cèdre de l'Atlas est un exemple typique. En effet, pour diverses raisons, on ne peut envisager la production d'huile essentielle de bois de cèdre de l'Atlas qu'à partir de la sciure récupérée dans les scieries qui traitent ce bois. Cette sciure est constituée de matière pulvérisée qui ne se prête nullement à la distillation dans

des alambics à feu nu classiques (*Cf.* § 2) que les professionnels marocains utilisent dans tous les cas de figures. La sciure se tasse dans l'alambic, rend difficile la circulation de la vapeur, ralentit l'opération de distillation et réduit son efficacité. La distillation d'une matière pulvérisée comme la sciure du bois se fait généralement mieux par hydrodistillation (*Cf.* Tableau 33; Chapitre 8).

L'agitation continue peut améliorer l'efficacité de l'opération de distillation de ce type de produit même par vapohydrodistillation ou vapodistillation. Les distillateurs marocains de la sciure de cèdre ou de produits similaires (sciure de bois de thuya par exemple) gagneront certainement en révisant leurs procédés.

## **8. MAÎTRISE DE LA QUALITÉ DU MATÉRIEL VÉGÉTAL À LA RÉCOLTE**

Les professionnels marocains sont sensibilisés à certains aspects de la problématique liée à la «qualité» de la matière première à la récolte et son importance quant à la réussite de l'opération de la distillation. En particulier, ils maîtrisent relativement bien la gestion du phénomène du polymorphisme chimique de l'armoise blanche. Ils savent très bien comment peut-on produire une huile essentielle de cette espèce de qualité standard malgré l'extraordinaire variation de la composition de cette essence.

Par contre, ils sont généralement mal outillés pour la maîtrise des fluctuations dues à la période de récolte.

Ainsi, la constitution de la «communelle» de l'année (*Cf.* § 6; Chapitre 7) ne semble pas être une pratique courante chez ces distillateurs. Or, c'est le seul moyen d'atténuer les fluctuations de la qualité des productions durant l'année et de pouvoir soumettre ainsi, à ses clients, des produits de qualité relativement standard durant l'année et peut-être même d'une année à l'autre.

En fait, le réflexe même d'analyse et de contrôle de la production avant sa commercialisation reste encore une pratique peu courante chez les professionnels marocains. Des efforts restent à faire par ces acteurs pour la maîtrise de tous les facteurs liés à la qualité du végétal à la récolte pour une meilleure maîtrise de la distillation

des plantes aromatiques et la production d'huile essentielle de qualité.

## **9. ÉTAT DE SÉCHAGE DE LA PLANTE AVANT SA DISTILLATION**

Le séchage du matériel végétal, avant sa distillation, a un effet sur les rendements en huiles essentielles (*Cf.* § 3.5.2; Chapitre 8). Les rendements (exprimés en % de matière sèche) augmentent régulièrement en fonction de la durée de séchage, jusqu'à atteindre un optimum (souvent après plusieurs jours de séchage). Puis ces rendements commencent à diminuer. Les courbes de représentation de ce phénomène varient d'une espèce à l'autre.

Les professionnels marocains ne sont pas toujours conscients de cette donnée et, par conséquent, ne sont pas capables de l'exploiter pour améliorer l'efficacité de leurs opérations de distillation.

## **10. PRODUCTION DE VAPEUR**

Les professionnels marocains utilisent, le plus souvent, la biomasse végétale épuisée (après extraction de l'huile essentielle) et séchée au soleil comme principale source d'énergie. Le bois est utilisé essentiellement au démarrage de la campagne de distillation.

Certains distillateurs utilisent des sources d'énergies peu communes comme la combustion des pneus usés. Cette démarche ne peut nullement être recommandée étant donnée sa répercussion sur le milieu environnant à cause de la fumée et de l'odeur que cette combustion dégage.

Il reste donc la combustion de la biomasse végétale épuisée comme le moyen le mieux indiqué, car il est efficace et le moins coûteux. On peut comparer cette source d'énergie à la bagasse et évaluer son pouvoir calorifique à environ 3000 kcal/kg (*Cf.* Tableau 25, Chapitre 6).

Dans l'encadré 33, on fait une évaluation du potentiel énergétique de ce sous-produit de distillation et on le compare aux besoins de la distillerie.

**Encadré 33. Besoins en énergie pour la production de vapeur**

1. Les distillateurs du romarin, au Maroc, utilisent les mêmes alambics que celui qui est décrit dans la figure 71.
2. La consommation en vapeur de cette distillerie est de 20% (vapeur par charge végétale en %) ou 120 kg par alambic (Cf. Encadré 27).
3. En admettant la température d'eau froide à l'entrée de la «chaudière» égale à 20°C, la production de cette quantité de vapeur nécessite:

$$120 (100-20) + 120 \cdot 540 = 120 \cdot 620 = 74.400,00 \text{ kcal/alambic}$$

4. On admet que les pertes d'énergie représentent 50% (Muñoz, 1987). On peut, ainsi, estimer les besoins globaux en énergie comme suit:

$$74.400,00 \times 2 = 148.800,00 \text{ kcal /alambic}$$

5. Le pouvoir calorifique du résidu de distillation (exemple du romarin) peut être estimé comme suit:

$$600 \text{ (kg de végétal)} \times 3000 = 1.800.000,00 \text{ kcal/alambic}$$

soit 12 fois les besoins en énergie.

6. Certains distillateurs de romarin rapportent qu'ils consomment plus de la moitié du résidu de distillation. Ceci signifierait que les pertes énergétiques dépassent les 90%. Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces pertes: la surface d'échange thermique au niveau de la partie «chaudière» est sous-utilisée, le condenseur est sous-dimensionné, les pertes de chaleurs au niveau des parois non calorifugées sont élevées, etc.
7. Certes, cette source d'énergie est «gratuite» pour le distillateur et donc sa consommation ne devrait pas lui poser de problème même quand elle est excessive. Or, plus la consommation est élevée, plus cela demande de la main-d'œuvre pour alimenter, de façon régulière, le foyer. Par ailleurs, une consommation d'énergie anormalement élevée signifierait des défaillances dans la gestion technique de distillerie.

**11. CONDENSATION DE LA VAPEUR**

Les exploitants marocains des plantes aromatiques, pour la production d'HE, utilisent généralement des cours naturels d'eau pour la condensation des vapeurs. Dans ce cas, il est difficile d'évaluer les consommations réelles en eau de refroidissement. Mais il arrive que les distillateurs utilisent des bassins artificiels construits pour

les besoins de la distillerie. Ces bassins sont remplis d'eau froide soit manuellement soit à l'aide de moyens mécaniques (pompage). C'est un procédé de refroidissement très peu efficace. Les consommations d'eau dans ces conditions ont déjà été estimées (Cf. Encadré 25).

## 12. CONCLUSIONS

Au terme de l'analyse de l'expérience des professionnels marocains dans le domaine de distillation des PAM, on peut retenir quatre observations essentielles:

- Les équipements utilisés par ladite profession restent très anciens compte tenu des technologies actuellement disponibles sur le marché. Certes, ces équipements ont l'avantage d'être peu coûteux et de manipulation relativement facile. Mais, toute politique de modernisation a son prix. Des modifications et des soins simples, tant par leurs coûts que par leurs exigences techniques, permettraient d'améliorer l'efficacité de ces équipements. Ainsi, plusieurs propositions et recommandations ont été faites (Encadrés 30, 31 & 32, Figures 79 & 81, etc.).
- Le procédé utilisé a des atouts, mais il souffre de nombreuses faiblesses (§ 3.3.).
- La durée de distillation est trop longue. Ceci peut se répercuter sur la qualité des produits obtenus et sur le coût global de l'opération. Cette situation peut être corrigée en améliorant les équipements utilisés et en révisant les procédés de distillation mis en œuvre.
- Globalement, l'exploitation des PAM au Maroc a encore suffisamment de marges pour se développer. Encore faut-il adopter la stratégie qui s'impose.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le secteur des PAM est caractérisé par cinq données essentielles:

- Le secteur des PAM est très diversifié par les matières premières (espèces végétales) qu'il traite, les types de produits qu'il élabore (plantes vertes, plantes ou parties de plantes séchées ou congelées, extraits de différentes natures, ...), les technologies qu'il met en œuvre (séchage, congélation, entraînement à la vapeur d'eau, extraction aux solvants organiques, extractions aux fluides supercritiques, extraction assistée par micro-ondes, ...) ainsi que par les marchés de destination (épices, aromates, herboristerie, parfumerie, cosmétique, arômes, industrie pharmaceutique, additifs alimentaires, ...). Il est également diversifié par la taille des marchés. Pour certains produits (essences d'agrumes, de menthe, de rose, ...), les marchés sont estimés à plusieurs dizaines de millions de \$US. Ces productions sont généralement tenues par des grandes sociétés ou des gros producteurs disposant de grandes surfaces pour les cultures et des moyens financiers et techniques conséquents. Un petit producteur, nouvel arrivant, aura, peut-être, du mal à tenir et à faire sa place sur le marché. D'autres produits n'ont, sur le marché, qu'une place relativement secondaire : quelques dizaines à quelques centaines de milliers de \$US, voire moins. Ces types de produits sont généralement des niches particulières qui intéressent peu les grandes compagnies pour la production «primaire» (production de biomasse végétale et même l'extraction ou autre traitement technologique équivalent).
- Ce secteur est certes, ancien, mais il reste très dynamique. Il est en évolution permanente et toujours à la recherche d'innovation: nouvelles technologies, nouveaux produits, nouveaux domaines pour l'utilisation de ces produits, nouvelles formules et nouveaux labels (bio, naturels, ...). L'innovation doit, en particulier, être capable de supporter un besoin permanent en publicité et marketing.

- Le marché relatif à chaque produit est très fluctuant. Il est fluctuant aussi bien pour ce qui est de la demande qu'en ce qui concerne les prix. Mais, globalement, le marché des PAM et dérivés est en croissance continue.
- Le marché des PAM est très ouvert. Il n'y a pratiquement plus aucune possibilité de protection de quelle que nature que ce soit. La concurrence y est forte. La réussite, autrefois basée sur le secret et l'héritage de savoir-faire (familial le plus souvent), exige aujourd'hui, plus de transparence, de compétences techniques et de sérieux et de continuité dans les relations commerciales.
- Le même marché est de plus en plus exigeant quant à la qualité au sens large : qualités des produits et des producteurs. Les normes se multiplient pour standardiser les produits et fixer, dans certains cas (aromathérapie, produits bio, ...), la qualité des chaînes de fabrication. L'importance de la qualité des relations commerciales a déjà été soulignée.

Au vu de ces caractéristiques du secteur, on peut retenir que:

- D'une part, l'espoir que plusieurs acteurs (responsables politiques nationaux ou internationaux, investisseurs ou scientifiques) mettent dans le secteur peut être justifié. Celui-ci est riche, diversifié, dynamique et en croissance continue.
- D'autre part, ledit espoir doit être nuancé. Le secteur des PAM est aujourd'hui un secteur industriel avec beaucoup d'exigences scientifiques, techniques et commerciales.

Les pays qui cherchent à développer une activité économique dans le domaine doivent, d'abord, compter sur les atouts dont ils disposent:

- Disponibilités de ressources naturelles existantes ou à développer. Cette évaluation doit être faite de façon aussi précise que possible. Le secteur n'admet pas le «à peu près» ou «presque la même chose». L'évaluation doit être faite par de vrais spécialistes du domaine.
- Facilité d'accès au marché international. En effet, à part quelques pays disposant d'un marché intérieur important (Inde, Chine, ... pour les PVD et USA, UE pour les pays développés), l'exploitation industrielle des PAM ne peut réussir qu'en visant le marché

international. Ce marché est, certes, très ouvert, mais il impose plusieurs contraintes. En particulier, la régularité de l'offre en quantité, prix et qualité est une condition fondamentale pour la réussite dans le domaine. Les produits livrés en frais ou congelés exigent un système d'organisation et des équipements, pour le transport, très contraignants. Pour certains marchés, les normes de qualités, sanitaires entre autres, sont particulièrement sévères pour des produits comme les PAM séchées.

- La tradition d'exploitation des PAM. L'exploitation des peuplements naturels (plantes spontanées) des PAM est très exigeante en main-d'œuvre habituée (ou à former) à ce genre d'activité. L'organisation de la récolte de ce type de produit n'est pas toujours aussi simple qu'on le croit. Pour les produits de culture, il s'agit souvent de techniques nouvelles pour les populations concernées.
- Existence d'une profession dynamique, combative et animée par un esprit d'innovation permanent. En l'absence d'une telle profession, il va falloir la créer, ce qui va certainement prendre du temps.
- Une activité de recherche-développement capable de supporter et d'animer l'effort d'innovation demandé à la profession.

Quel que soit le résultat de ce «décompte», pour espérer réussir dans le domaine, il est très utile de disposer d'une politique clairement définie et organisée impliquant la profession, les pouvoirs publics concernés et les centres de recherche spécialisés.

Les investisseurs intéressés par le secteur doivent:

- Évaluer, à sa juste valeur, la ressource disponible en qualité mais également en quantité. À titre d'exemple, pour produire 10 t d'HE de romarin (équivalent à un chiffre d'affaires de 19 millions de DH à l'export), il faudra traiter pas moins de 2500 t de biomasse végétale.
- Tenir compte de la diversité du marché pour choisir les produits à élaborer. Ce choix conduira à sélectionner les espèces végétales à traiter, les procédés à mettre en œuvre, le mode d'organisation nécessaire, etc. La simple copie du voisin n'est pas toujours payante.

- Maîtriser les technologies à mettre en œuvre compte tenu du(des) procédé(s) retenu(s). Même les procédés considérés souvent, comme simples techniquement, exigent aujourd'hui beaucoup de connaissances scientifiques et de technicité pour mériter le label de qualité et gagner la confiance du client. Le séchage et la distillation, développés dans les chapitres 4 à 8 sont, à cet égard, deux exemples significatifs.

Les scientifiques peuvent contribuer grandement au développement du secteur. Cela suppose un engagement et une collaboration de tous les concernés pour faire en sorte que les investigations des chercheurs se consacrent aux problèmes réels et clairement définis du secteur.

Les technologies modernes de distillation des PAM traduisent la vivacité du secteur. Le développement de ce dernier passe, aujourd'hui, par sa modernisation. Celle-ci ne peut se faire avec des technologies et des systèmes d'organisation entièrement dépassés.

Pour ces raisons, le secteur des PAM paraît un secteur prometteur et en plein développement. Cependant, pour profiter pleinement de ces potentialités, il y a beaucoup d'idées trop simplistes qui méritent d'être corrigées au préalable. Le secteur des PAM, aujourd'hui, n'est plus du domaine du «bricolage» mais, une industrie comme tout autre secteur agro-industriel. Cette industrie a ses propres exigences scientifiques, techniques, économiques et commerciales qu'il faut prendre en considération pour espérer y réussir et s'inscrire dans la durabilité du développement.

## Annexe 1. Liste des principales plantes aromatiques et/ou médicinales exportées par le Maroc à l'état de plantes (ou parties de plantes) séchées

Noms français*	Noms latins	Vernaculaires arabes marocains
<b>1. Épices et produits similaires</b>		
Piment rouge et dérivés (autres que les résinoïdes), paprika	<i>Capsicum annuum</i> L.	Foulfoul hamra, niora,
Coriandre (graines)	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Al-kasbor (h'boub)
Safran	<i>Crocus sativus</i> L.	Azzaâfaran
Fenugrec (graines)	<i>Trigonella foenum graecum</i> L.	El-helba (h'boub)
Fenouil (graines)	<i>Foeniculum dulce</i> Dc., <i>F. vulgare</i> P. Mill	Ennafaâ (h'boub)
Carvi (graines)	<i>Carum carvi</i> L.	Karuya (h'boub)
Cumin (graines)	<i>Cuminum cyminum</i> L.	Kamoune (h'boub)
Sésame (graines)	<i>Sesamum indicum</i> L.	Jinjlane (h'boub)
<b>2. Aromates (Feuilles séchées sauf indication contraire)</b>		
Thym	<i>Thymus satureoides</i> Coss	Zaâtar / Z'itra
Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i> L. <i>R. eriocalix</i> Jordan et Fourr	Azir
Origan	<i>Origanum compactum</i> Benth.	Zaâtar / Z'itra
Verveine (Plusieurs qualités: feuille à feuille, standard, brisures)	<i>Lippia citriodora</i> Kunth	Allouiza
Sauge (sauvage et de culture)	<i>Salvia officinalis</i> L.	Salmia, swak en-nabi**
Persil	<i>Petroselinum sativum</i> Hoffm. Var. <i>latifolium</i>	Maédnouss
Laurier	<i>Laurus nobilis</i> L. <i>L. azorica</i> (Senb.) Maire	Âssa moussa, er-rand
Menthe naânaâ (feuilles séchées et plante entière à l'état frais)	<i>Mentha viridis</i> L.	Naânaâ
Bigaradier	<i>Citrus aurantium</i> L. var. <i>amara</i> Link.	Larenj
Basilic	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lehbak

### 3. Autres produits condimentaires

Câpres *Capparis spinosa* L. Kabbar, kobbar

### 4. Plantes à parfum

Iris (racines) *Iris germanica* L. Sousban, ôud al-ânbar\*\*

Mousse d'arbre (mousse de chêne et mousse de cèdre) *Evernia prunastri* Ach. Et *E. furfuracea* Mann. Lahyat chikh, chibat al-âjouz\*\*

### 5. Plantes à utilisations médicinales (essentiellement)

#### 5.1. Fleurs séchées

Rose (pétales, boutons) *Rosa centifolia* Mill. *R. damascena* Mill. Al-ward

Coquelicot *Papaver rhoeas* L. + *P. dubium* L. Belaâmane

Fleur de cactus *Opuntia divers* (fleurs) Nouart el-hendya

Bruyère *Erica divers* Nouaret chamal

Souci officinal *Calendula officinalis* L. Al-jamra

#### 5.2. Feuilles

Vigne rouge *Vitis vinifera* L. Dalya al-hamra

Artichaut *Cynara cardunculus* L. Khorchif

Fumeterre *Fumaria divers* Oum l'bina, chihmat el-fellouss

Olivier *Olea europea* L. Zitoune

Arenaria ou Sabine rouge *Arenaria ruba* L. Bissat el-moulouk\*\*; Herras lajar

(casseur de pierre) *Centaurium spicatum* (L.) Fritsch et *C. erythraea* Rafn.

Centaurée *Fraxinus divers* Kossat al-hayya

Frêne *Hedera helix* L. Dardar

Lierre grimpant Louaya

Mauve	<i>Malva sylvestris</i> L., <i>M. rotundifolia</i> L., <i>M. parviflora</i> L.	Khoubbiza, bakkoula
Arbousier	<i>Arbutus unido</i> L.	Sasnou, boukhannou
Armoise	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso	Chih
Fraise	<i>Fragaria x ananassa</i> Duchesne	Fressa, tout al-ard
Henné	<i>Lawsonia inermis</i> L., <i>L. alba</i> Lamk.	Al-henna
Ortie	<i>Urtica pilulifera</i> L., <i>U. dioica</i> L.	Hourriga
Myrte	<i>Myrtus communis</i> L.	Er-rayhane
Menthe pouliot	<i>Mentha pulegium</i> L.	Fliou
Marrube blanc	<i>Marrubium vulgare</i> L.	Meryout, merreouta,
Abricot	<i>Prunus armeniaca</i> L.	Michmache
Globulaire	<i>Globularia alipum</i> L.	Tasselgha, Aïn lerneb**
Eglantier	<i>Rosa canina</i> L.	Tmar el-gharb
Argan (Noyaux)	<i>Argania spinosa</i> (L.) Skeels (noyaux)	Hab argane
<b>5.3. Racines</b>		
Pyrèthre	<i>Anacyclus pyrethum</i> L.	Tigndist
Sarghine	<i>Corrigiola telephiiifolia</i> Pour.	Sarghina
Asperge	<i>Asparagus divers</i>	Sekkoum
Fenouil	<i>Fœniculum dulce</i> Dc.	Ennafaâ (hap)
<b>5.4. Écorces</b>		
Grenadier	<i>Punica granatum</i> L.	Ar-rommane
<b>5.5. Graines, fruits</b>		
Gattilier	<i>Vitex agnus-castus</i> L.	L'kharouaâ (à ne pas confondre avec le ricin**), habb el-fakd**
Harmel	<i>Peganum harmala</i> L.	Harmel
Cyprès (noix)	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartveg, <i>C. sempervirens</i> L.,	Sibri
		Sarw**, Bestan**

Brou de noix  
Aubépine

*Juglans regia* L (brou de noix)  
*Crataegus laciniata* Ucr et  
*C. monogyna* Jacq.

Kchour el-guergaâ

Admam, Zaâror

### 5.6. Mixte

Saponaire (partie aérienne, racines)

*Saponaria vaccaria* L.,  
*S. glutinosa* Bieb.

Tighecht

Bigaradier (feuilles, fleurs)

*Citrus aurantium* L. var. *amara* Link.

Larenj (ourak, kchour, z'har)

Lavande (feuilles et fleurs)

Probablement un mélange de *Lavandula officinalis* Chaix Ex Villar + le lavandin abrial\*\*

Khzama

### 6. Plantes et parties de plantes destinées aux industries d'extraction

Orange (écorce)

*Citrus orantium* L. var. *dulcis* Pers.

Laimoune (K'chour)

Orangettes séchées

*Citrus orantium* L. var. *amara* Link.

Larenj

Amandes d'abricot ou  
amendes amères

*Prunus armeniaca* L.

Aâdem michmache

Ammi visnaga (graines)

*Ammi visnaga* L.

Bechnikha; Khella ((h'boub)

Caroube (gousse, pulpe et graines)

*Ceratonia siliqua* L.

Kharrob

Amande d'argan

*Argania spinosa* (L.) Skeels (Amendes)

Argan

\* utilisés par les exportateurs

\*\* Vernaculaires rapportés par Belakhdar (1997)

## Annexe 2. Principales espèces exploitées au Maroc pour la production d'huile essentielle et autres extraits aromatiques

Plantes exploitées	Région de production	Distillation (D) Extraction au solvant (E)	Autres formes de valorisation industrielle
<b>1. Plantes spontanées</b>			
<b>1.1. Romarin</b>			
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.)	Orientale	Locale (D)	Herboristerie; aromates alimentaires; antioxydants
<b>1.2. Menthe pouliot</b>			
<i>Mentha pulegium</i> L.)	Sidi Kacem, Kser Kebir, Larache, Tanger, Ouazzane, Chaouen, Tetouan, Taounate	Locale (D)	
<b>1.3. Myrte</b>			
<i>Myrtus communis</i> L.)	Rif centro-occidental: Ben Idder	Locale (D)	Herboristerie
<b>1.4. Armoise</b>			
<i>Artemisia herba-alba</i> Asso.)	Marrakech, Taliouine, Ouarzazate, Dadès, Taroudante, Tata...	Locale (D)	

**1.5. Cèdre de l'Atlas***(Cedrus atlantica )*

Sciures de bois récupérées dans les scieries de bois de cèdre

(région d'Azrou essentiellement)

Locale (D)

**1.6. Camomille sauvage du Maroc***(Ormenis mixta*ss. espèce *multicaulis* L.)

Gharb, région de Salé et Khemissat

Installations fixes  
essentiellement (E)/(D)**1.7. Thym de Terguiste***(Origanum elongatum*

Emb. Et Maire)

Ktama-Terguiste

Locale (D)

Herboristerie et aromates

**1.8. Thym doux du Maroc***(Thymus satureoides* Coss)

Haut Atlas central

Locale (D)

Herboristerie et aromates

**1.9. Laurier sauce***(Laurus nobilis* L.)

Atlas: Béni Mellal et Azilal

Locale (D) (Essentiellement)

Herboristerie + aromates

**1.10. Origan***(Origanum**compactum* Benth)

Ouazzane

Locale (D)

herboristerie + aromates

**1.11. Tanaise ou «camomille» bleue du Maroc**

(*Tanacetum annuum* L.)      Assilah, Tanger, Larache      Locale (D)

**2. Plantes de culture**

<b>2.1. Rose</b>	Dadès	Locale (E) et (D) (Installations fixes)	Fleurs séchées
<b>2.2. Jasmin</b>	Berkane (?) + Khemissat	Locale (E)	Résinoïdes et absolues
<b>2.3. Bigaradier</b>	Gharb (Sidi Yahia, Dar Balamri) Khemissat Marrakech	Locale (D) Khemissat (D) Locale (D)	Fleurs et boutons floraux séchés
<b>2.4. Orange</b> (Peau d'orange)	Sous-produits de l'industrie de jus d'orange	Locale (D)	
<b>2.5. Géranium rosat</b>	- Autrefois: région de Salé, Khemissat, Tiddas - Aujourd'hui: cette production a fortement baissé	Locale (D); mais dans des installations fixes	
<b>2.6. Menthe Naânaâ</b> ( <i>Mentha viridis</i> )	Partout au Maroc	Locale (D): Meknès, région de Settat	- Feuilles séchées pour l'herboristerie - Plantes entières fraîches pour infusions.

<b>2.7. Niora</b>	Gharb, Loukous, Tadla, Abda...	Extraction: Larache, Berchid (?)	Aromates et colorants alimentaires en poudre (Paprika)
<b>2.8. Verveine</b>	- Sud de Marrakech (Ourika, Ghmat...) - Tadla - Souss (?)	Distillation: limitée essentiellement dans la région de Marrakech	Herboristerie (feuilles)
<b>3. Mixte</b> (spontanées + culture) - Iris	Haut Atlas Central et région de Marrakech	Existe une unité fixe à Témara, mais à l'arrêt depuis plus de 15 ans	Rhizomes séchés (toute la production marocaine est exportée sous cette forme)

---

## RÉFÉRENCES CITÉES

- AFNOR (1988) Contrôle de la qualité des produits alimentaires: épices et aromates. 2<sup>ème</sup> Édition, Paris, XVIII, 365 p.
- Ames GR & Mathiew's VSA (1968) The Distillation of Essential Oils. *Tropical Products Institutes* 10(1): 136-149
- AMI (1995) Étude de la filière des épices, plantes aromatiques et huiles essentielles. Rapport du projet d'étude «Agribusiness au Maroc». MAMVA DAI UAAID, Rabat
- Andersen A, Gagnon H, Collin G & Adams RP (1995) Essential oil of the wood of *Thuya occidentalis* L. *J. Essent. Oil Res.* 7: 489-495
- Ankila O (1997) Techniques de séchage des plantes développées par le PSE/Maroc à Marrakech. Plantes aromatiques et médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, 1997, Rabat (Maroc)
- Assaf N (1995) Valorisation de *Myrtus communis* var. *italica* (ARRAIHANE) dans la zone de Bni-Ider (Province de Tanger). Mémoire de troisième cycle. École Nationale Forestière d'Ingénieur (ENFI), Salé
- Bélanger A, Eddaouri M & Benjilali B (1993) La verveine: l'effet du séchage du matériel végétal sur le rendement en huile essentielle et sa composition chimique. Actes des 12<sup>èmes</sup> Journées Internationales des huiles essentielles. Digne-Les-Bains, Septembre 1993
- Bellakhdar J (1997) La pharmacopée marocaine traditionnelle. Impressions DUMAS, Saint-Etienne
- Benjilali B (1987) Les productions marocaines en huiles essentielles: Potentialités, situation actuelle et perspectives. Communication aux 6<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques de Digne-Les-Bains, Septembre 1987. APPAM (ed), Digne-Les-Bains
- Benjilali B (1992) Le Maroc et l'exploitation des plantes aromatiques. Actes des 11<sup>èmes</sup> Journées Internationales Huiles Essentielles. Digne-Les-Bains. Rivista Italiana Eppos. Sept. 1992
- Benjilali B (1997) Exploitation des plantes aromatiques au Maroc. In: Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs Huiles Essentielles. Actes Éditions, Rabat, Maroc
- Benjilali B & Bélanger A (1992) Rapport technique du projet d'étude «Plantes Aromatiques/Maroc». Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI), Ottawa
- Benjilali B, Hammoumi M, M'Hamedi A & Richard H (1985) Analyse en composantes principales (ACP) et chimiotaxonomie de l'armoise blanche du Maroc (*Artemisia herba-alba*). *Les cahiers du C.E.A.M.S* 2: 12-21

- Benjilali B, Hammoumi M, M'Hamedi A & Richard H (1987b) Polymorphisme chimique des huiles essentielles des thyms du Maroc. II- Analyse en composantes principales (ACP). *Sciences des aliments* 7: 275-299
- Benjilali B, Hammoumi M & Richard H (1987a) Polymorphisme chimique des huiles essentielles des thyms du Maroc. I- Caractérisation des composants. *Sciences des aliments* 7: 77-91
- Benjilali B, Noleau F & Richard H (1989) L'huile essentielle de *Tanacetum annuum* L. dite «camomille bleue du Maroc». Communication aux 8<sup>èmes</sup> journées scientifiques international, plantes aromatiques et huiles essentielles, Digne-Les-Bains (France), septembre 1989. APPAM, Digne-Les-Bains
- Benjilali B & Richard H (1980) Étude de quelques peuplements d'armoise blanche du Maroc (*Artemisia herba-alba* Asso). *Rivista Italiana EPPOS* 62:69-74
- Benjilali B, Richard H & Baritoux O (1986) Étude des huiles essentielles de deux espèces d'origan du Maroc: *Origanum compactum* Benth et *Origanum elongatum* Emb. Et Maire. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 19: 22-26
- Benjilali B, Richard H & Liddle P (1984) Chemotypes d'armoise blanche du Maroc (*Artemisia herba-alba*). *Rivista Feraderno Agricolo. Supplemento 2, atti delle Giornata Internazionali*. Saint-Vincent 26-27 april 1984
- Benjilali B, Saris J & Richard H (1982) Nouveaux chemotypes d'armoise blanche du Maroc (*Artemisia herba-alba* Asso). *Rivista Feraderno Agricolo. Supplemento 2, atti delle giornata internazionali*. Saint Vincent, 26-27 april 1982
- Benjilali B, Zrira S & Aboukassim E (2000) Le secteur des plantes aromatiques et médicinales au Maroc. Communication à la journée nationale de réflexion sur les plantes aromatiques et médicinales au Maroc; Casablanca 16 novembre 2000. *Annales de la recherche forestière au Maroc. N° spécial; Actes de la journée nationale de réflexion sur les plantes aromatiques et médicinales au Maroc; Casablanca 16 novembre 2000 pp. 15-40*
- Bhija S (2000) Étude technico-économique d'installation d'une unité de séchage de plantes aromatiques et médicinales pour les produits d'herboristerie et les aromates alimentaires. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II, Rabat
- Boucard GR & Serth RW (1991) A continuous steam stripping process for the distillation of essential oils. *Perfumer & Flavorist* 16: 2-8
- Camara M (1993) Séchage solaire de la menthe verte. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle. Option Industries Agricoles et Alimentaires. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, (Maroc)
- Chalchat JC (1993) Valorisation par la connaissance des procédés de distillation à la vapeur d'eau et utilisation des sous-produits. In: Valorisation de la biomasse végétale par les produits naturels. Actes du colloque de Chicoutimi 22-25 août 1993. Centre de Recherche pour le Développement International, Ottawa
- Djerrari A (1992) Étude qualitative et quantitative de l'huile essentielle de verveine *Lipia citriodora* L. Du Maroc. Influence de la période de coupe; techniques culturales et durée de distillation. Doctorat ès-Sciences Agronomiques, IAV Hassan II, Rabat, Maroc
- Djerrari A & Cruzet J (1985) Influence du mode d'extraction sur la composition de l'huile essentielle de thym (*Thymus vulgaris* L), 4<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques Internationales. Digne-Les-Bains

- Djerrari A & Crouzet J (1997) Influence de la durée d'extraction sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles. *In*: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- EACCE (1995-1996 à 2002-2003) Base de données du commerce exportations du Maroc Site internet: <http://www.eacc.org.ma/postresultat.asp>
- Eddaouri M (1992) La culture de verveine au Maroc: effets des techniques culturales, milieu et procédés technologiques sur les rendements en aromates (feuilles séchées) et en huiles essentielles; considérations économiques. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II. Rabat
- El Amrani A (1999) Les huiles essentielles des romarins du Maroc (*Rosmarinus officinalis* L. et *Rosmarinus eriocalix*): facteurs influençant les rendements et la composition chimique des huiles essentielles. Thèse de doctorat ès-Sciences. Université Hassan II. Faculté des sciences Ben M'Sik. Casablanca.
- El Amrani A, Bélanger A, Zrira S, Achhal A & Benjlali B (1994) Le romarin du Maroc (*Rosmarinus officinalis* L.) et ses huiles essentielles: Variabilité intraspécifique. Communication aux 13<sup>èmes</sup> journées internationales huiles essentielles. Digne-Les-Bains. Sept. 1994.
- El Amrani A, Zrira S, Ismaili-Alaoui M, Belanger A, Berrada M & Benjlali B (1997a) Effet du stade végétatif, de la plante à la récolte, sur les rendements et la qualité de l'huile essentielle du romarin du Maroc. *In*: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- El Amrani A, Zrira S, Ismaili-Alaoui M, Belanger A, Berrada M & Benjlali B (1997b) Effet de séchage sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle du romarin du Maroc (*Rosmarinus officinalis* L.) *In*: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- El Amrani A, Zrira S, Mejjati-Alami M, Ismaili-Alaoui M, Berrada M & Benjlali B (1997c) Effet du niveau et de la période de coupe sur les rendements et la composition chimique des huiles essentielles du romarin du Maroc. *In*: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- Ettalibi M (2004) Biochimie des saccharides, Actes Éditions, Rabat, 584 p.
- Fechtal M, Tahiri T, Ismaili-Alaoui M & Benjlali B (1997) Étude des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. du Rif centro-occidental. *In*: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- Gaviña Mugica M & Torner Ochoa J (1974) Contribution al estudio de los aceites esenciales españolas II. Aceites esenciales de Guadaljara. Ministerio de agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones agrarias. Madrid

- GEF-Rif 2 (1997) Action pilote pour la valorisation des plantes aromatiques et à huiles essentielles dans le Rif . Projet objet du contrat de service 14/96/GEF-Rif. Rapport N°2 (Bilan de la campagne de reconnaissance: critères de choix des espèces, repérage et potentiel des zones de cueillettes; opération de cueillette et de distillation). DPA-Chefchaouen (Direction Provinciale d'Agriculture de Chefchaouen. Ministère d'agriculture et de mise en valeur agricole)
- GEF-Rif 3 (1997) Action pilote pour la valorisation des plantes aromatiques et à huiles essentielles dans le Rif . Projet objet du contrat de service 14/96/GEF-Rif. Rapport N°3 (Description des échantillons des produits de la distillation. Présentation des résultats d'analyse). DPA-Chefchoun (Direction Provinciale d'Agriculture de Chefchaouen. Ministère d'agriculture et de mise en valeur agricole)
- GEF-Rif 4 (1998) Action pilote pour la valorisation des plantes aromatiques et à huiles essentielles dans le Rif . Projet objet du contrat de service 14/96/GEF-Rif. Rapport N°4 (Analyse des données et perspectives de l'évolution du secteur des PAM au Maroc -Cas particulier du Rif). DPA-Chefchoun (Direction Provinciale d'Agriculture de Chefchaouen. Ministère de l'agriculture et de la mise en valeur agricole)
- Greche H (1999) La tanaise annuelle (*Tanacetum annuum* L.) du Maroc: Chimie, chimiotaxonomie, tests biologiques et pouvoir inhibiteur de la corrosion du fer en milieu acide. Doctorat en chimie appliquée. Université Ibn Tofail. Faculté des sciences de Kénitra. Maroc
- Greche H, Ismaili-Alaoui M, Hajjaji N, Zrira S, Belanger A & Benjilali B (1997) Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de *Tanacetum annuum* L. in Benjilali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- Guenet (1992) L'iris matière première de la parfumerie. Communication aux 11<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques de Digne-Les-Bains, Septembre 1992. *Rivista Italiana EPPOS*, Numéro spécial, actes des 11<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques de Digne-Les-Bains, Septembre 1992
- Guenther E (1965) The Essential Oils, Vol. I à IV, D. Van Norstand Company Inc, New York
- Hagler RCG (1991) L'efficacité énergétique dans les systèmes de distribution de vapeur. Bailly Inc.
- Hartmann H (1995) Communication au congrès international des huiles essentielles et arômes (CEOFF), Istanbul
- Hmamouchi M & Benali H (1997) Place des plantes aromatiques et des huiles essentielles dans l'économie marocaine. In: Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs Huiles Essentielles. Actes Éditions, Rabat, Maroc
- Iteipmai (Institut technique interprofessionnel des plantes médicinales, aromatiques et industrielles) (1989). Le thym. Fiche technique 6/89. iteipmai ed. 49120 Chemille (France)

- Iteipmai (1991) Romarin. Fiche technique 01/91. Iteipmai ed. Chemillé (France)
- Iteipmai (1992) Séchage. *C.R. Tech.* pp. 84 -100
- Iteipmai (1995) Le séchage: des principes à la définition de votre installation. Iteipmai Publications, CHEMILLE (France)
- Koedam A, Scheffer JJC & Shendsen A.B (1979) Comparison of Isolation Procedures for Essential Oils, I. Dil (*Anethum graveolens* L.). *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.* 6: 1-7
- Labuza TP, Kaanane O & Chen JY (1985) Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *J. of Food Science* 50: 385-391.
- Lamiri A, Belanger A, Berrada M, Zrira S & Benjilali B (1997a) Polymorphisme chimique de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso) du Maroc. In: Benjilali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- Lamiri A, Belanger A, Berrada M, Zrira S, Ismaili-Alaoui M & Benjilali B (1997b) Origine du polymorphisme chimique de l'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso) du Maroc. In: Benjilali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles. Actes Éditions, Rabat (Maroc)
- Lawrence BM (1984) The botanical chemical aspect of oregano. *Perfumer and flavorist* 9: 41-51
- Markus M & Ankila O (1995) Manuel du séchage solaire au Maroc. Programme Spécial Energie (PSE) Maroc, CDER & GTZ
- M'rabet N (1999) Le ciste ladanifère (*Cistus ladaniferus* L.) du Maroc: étude écologique, botanique, caryologique, chimie et chimiotoxicologie, propriétés antimicrobiennes, possibilités d'exploitation industrielle. Doctorat en biotechnologie végétale. Université Mohamed V. Faculté des sciences. Rabat
- M'rabet N, Lahlou H, Zrira S, Ismaili-Alaoui M & Benjilali B (1996) Essential oils and resin gum from the Moroccan cistus (*Cistus ladaniferus*). Rivista Italiana EPOSS Numéro spécial actes 15<sup>ème</sup> Journées Internationales Huiles Essentielles. Digne-Les-Bains, Sept. 1996
- M'rabet N, Lahlou H, Zrira S, Ismaili-Alaoui M & Benjilali B (1997) Huile essentielle du ciste ladanifère du Maroc (Propriétés physico-chimiques et facteurs influençant les rendements et la composition chimique). Actes des 17<sup>èmes</sup> Journées Internationales Huiles Essentielles. Digne-Les-Bains, Sept. 1998
- Mettali MA (1994) La technologie d'extraction des huiles essentielles: performances d'un nouvel appareil pilote et effet de certains facteurs sur le rendement d'extraction et la qualité de l'huile essentielle. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option Industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II. Rabat

- Muñoz F (1987) *Plantas Medicinalis y aromaticas: Estudio, cultivo y procesado*. Ed. MUNDI-PRENSA (Madrid)
- Office des changes du Royaume du Maroc (1980 à 2000) Statistiques du commerce extérieur, tableau 9, chapitre 33 (Système Harmonisé: SH) ). Site internet: [www.oc.gov.ma](http://www.oc.gov.ma)
- Office des changes du Royaume du Maroc (1994 à 2000) Statistiques du commerce extérieur, tableau 9, chapitre 9 (Système Harmonisé: SH). Site internet: [www.oc.gov.ma](http://www.oc.gov.ma)
- Office National Interprofessionnel des Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales (France) (ONIPAM) (1995) Rapport annuel. ONIPPAM, Volx (France) 204 p.
- Ondarza M & Sanchez A (1990) Steam distillation and supercritical fluid extraction of some Mexican spices. *Chromatographia* 30(1/2): 16-18
- ONIPAM (Office National Interprofessionnel des plantes à parfums aromatiques et médicinales - France)(1995) Rapport annuel
- Pellerin P (1991) Supercritical fluid extraction of natural raw materials for the flavour and perfume industry. *Perfumer and Flavorist* 16(4): 37-39
- Pellerin P (2000) Techniques d'extraction des huiles essentielles. Annales de la Recherche Forestière au Maroc. *Actes de la journée de réflexion sur les plantes aromatiques et médicinales*, Casablanca 16 novembre 2000, pp. 74-101
- Peyron L (2000) Aspect international du marché des PAM, communication à la journée de réflexion sur les plantes aromatiques et médicinales, Casablanca 16 novembre 2000; Annales de la recherche forestière au Maroc, N° spécial (Actes de la journée), 3-14.
- Rahho L (2003) Contribution à l'étude de l'huile essentielle d'*Ormenis mixta* du Gharb-Mamora-Maroc. Mémoire de troisième cycle. IAV Hassan II, Rabat.
- Rais A (1998) Les lavandes de la région de Khemissat: contribution à l'étude de quelques facteurs affectant les rendement et la qualité de leurs huiles essentielles. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II. Rabat
- RCG/Hagler, Bailly, Inc (1991) Projet GEM. Gestion de l'énergie dans les entreprises marocaines. L'efficacité énergétique dans les systèmes de distribution de vapeur. Ministère de l'Énergie et des Mines (Royaume du Maroc), Rabat, 152 p.
- Richard H (1985) *Épices et Aromates*. A.P.R.I.A (Paris), 346 p.
- Senhaji A.F (1992) Séchage solaire des produits agricoles et alimentaires. *Tribune du Gerere* N°3/25
- Slama G (1994) Technologie d'extraction des huiles essentielles: étude de quelques

- facteurs affectant le rendement et la composition chimique des huiles essentielles. Performance d'un nouvel appareil pilote. Application à *Eucalyptus camaldulensis*. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option Industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II. Rabat.
- Steinfeld P & Segal A (1984) Solar drying of agricultural Products. Institut of Agricultural Engineering, ARO Bet Dagan, Israel.
- Taoussi M (1992) Extraction des huiles essentielles. Effet de la technologie utilisée sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle. Application à *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Mémoire de troisième cycle Agronomie, option Industries agricoles et alimentaires. IAV Hassan II. Rabat.
- Tournaire G (2000) Les apports technologiques du Sud de la France ou quelques décennies de progrès technologiques dans l'industrie grasse et provençale des huiles essentielles et les extraits aromatiques. Communication aux 19<sup>èmes</sup> Journées Internationales des huiles essentielles. Digne-Les - Bains (France)
- Touayli J (2002) Valorisation de sous-produits de thuya de berberi (*Tetraclinis articulate* Vahl) du Maroc par la production d'huile essentielle. Mémoire de troisième cycle. IAV Hassan II, Rabat.
- Venkatech, Gopadi M, Pale Pu & Nageswara R (2000) Process for manufacturing bite-dispersion tablets. United States patent: 6.475.510
- Veyan R (2000) Lavandes, lavandins. Parfum d'histoire. APPAM (ed.) Digne-Les-Bains
- Wicki Gerbranda (1991) Simple culture, les plantes médicinales en agrobiologie. Editions Pensée sauvage, Terradou, Soudorgues
- Zrira S & Benjlali B (1989) Les huiles essentielles d'*Eucalyptus camaldulensis*: Effet de l'âge, traitement sylvicole et milieu sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle. Communication aux 8<sup>èmes</sup> journées scientifiques huiles essentielles. Digne-Les-Bains (France) Sept. 1989. In: La production de matière végétale aromatique, APPAM (ed.), Digne-Les-Bains.
- Zrira S (1992) Les huiles essentielles d'eucalyptus du Maroc. Facteurs influençant la productivité et la qualité de ces essences. Investigation sur les possibilités d'exploiter l'*E. camaldulensis* pour la production d'huile essentielle d'eucalyptus à cinéole. Thèse de Doctorat ès-Sciences agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II; Rabat (Maroc)
- Zrira S & Benjlali B (1991a) The essential oils of some eucalyptus species grown in Morocco. Physical properties and chemical composition. 22<sup>nd</sup> International Symposium on essential oils Saint-Vincent-Aosta (Italie)
- Zrira S & Benjlali B (1991b) The essential oil of the leaves and the fruits of *E. camaldulensis* J. Ess. O. Res. 3: 443-444
- Zrira S & Benjlali B (1991c) Effect of drying on leaf oil production of Moroccan

- Zrira S & Benjlali B (1991c) Effect of drying on leaf oil production of Moroccan *Eucalyptus camaldulensis*. *J.E.O.R.* 3:117-118
- Zrira S & Benjlali B (2003). The constituents of the oils of *lavandula stoeckas* L. ssp. *Atlantica*. Bv.-Bl. And *stoeckas* ssp *stoeckas* from Morocco. *J. Ess. Oil Res.* 15:68-69
- Zrira S, Benjlali B, Fechtal M & Richard H (1992) Essential oils of 27 eucalyptus species grown in Morocco. *J. Ess. Oil Res.* 4:259-264
- Zrira S, Benjlali B & Zalai H (1990) Effet de la période de récolte sur la composition des huiles essentielles de cinq espèces d'eucalyptus du Maroc. Communication aux 9<sup>èmes</sup> journées scientifiques huiles essentielles. Digne-Les-Bains (France) Sept. 1989 In: *Rivista Italiana EPPOS- Numéro spécial*, mars 1991: 480-490
- Zrira S, Bennour F, Laridj H, Chemli R & Benjlali B (2003) Productions aromatiques du Maghreb. Communication aux 22<sup>èmes</sup> Journées internationales huiles essentielles et extraits. Digne-Les-Bains, 3 au 6 septembre 2003. APPAM (ed) Digne -Les - Bains ([www.appam04.com](http://www.appam04.com))
- Zrira S, El Amrani A, Mejjati-Alami M, Bélanger A, Ismaili-Alaoui M & Benjlali B (1997) Rationalisation de l'exploitation industrielle des plantes aromatiques et médicinales: cas du romarin du Maroc. In: Benjlali B, Ettalibi M, Ismaili-Alaoui M & Zrira S. *Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs huiles essentielles*. Actes Éditions, Rabat (Maroc)

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Sommaire .....</b>	<b>5</b>
<b>Préface .....</b>	<b>7</b>
<b>Introduction générale .....</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre 1. Le secteur des plantes aromatiques et médicinales (PAM) dans le monde .....</b>	<b>13</b>
1. Introduction .....	13
2. Secteurs utilisateurs .....	14
2.1. Plantes à intérêts médicinaux .....	14
2.1.1. Plantes intéressant la médecine allopathique classique .....	15
2.1.2. Plantes intéressant la phytothérapie .....	16
2.2. Plantes à intérêt aromatique .....	17
2.2.1. Produits destinés directement aux consommateurs .....	17
2.2.1.1. Plantes séchées (PS) .....	17
2.2.1.2. Formes fraîches et surgelées .....	18
2.2.1.3. Formes déshydratées .....	18
2.2.2. Plantes destinées à l'industrie de transformation .....	19
2.3. Plantes à parfum .....	20
2.3.1. Parfumerie industrielle (détergents) .....	20
2.3.2. Cosmétique et parfumerie bas de gamme .....	20
2.3.3. Parfumerie alcoolique (parfums haut de gamme) .....	21
3. Contexte actuel du marché international .....	22
3.1. Productions mondiales des principales huiles essentielles .....	23
3.2. Producteurs d'huiles essentielles dans le monde .....	23
3.3. Concurrence internationale .....	28
3.4. Marché et organisation industrielle .....	30
4. Conclusions .....	32
<b>Chapitre 2. Présentation d'une expérience d'exploitation des PAM .....</b>	<b>37</b>
1. Introduction .....	37
2. Systèmes de production .....	38
2.1. Produits de culture .....	38
2.1.1. Verveine et produits similaires .....	38
2.1.2. Coriandre et produits similaires .....	39
2.2. Produits spontanés .....	41
3. Profession d'exploitation des PAM au Maroc .....	43
4. Technologies utilisées .....	47
5. Réalisations du secteur .....	47
5.1. Productions marocaines en HE et EA .....	48
5.1.1. Plantes exploitées .....	49
5.1.2. Productions en valeur .....	52

5.1.3. Marché de destination .....	55
5.2. Productions marocaines en PAM utilisées en herboristerie, aromatisation, médecine douce et en tisanderie .....	57
5.2.1. Épices et produits similaires .....	57
5.2.1.1. Principaux produits .....	57
5.2.1.1.1. Poudre de Paprika .....	57
5.2.1.1.2. Coriandre .....	58
5.2.1.1.3. Safran .....	58
5.2.1.2. Exportations en valeur .....	59
5.2.1.3. Marchés de destination .....	60
5.2.1.3.1. Piment .....	60
5.2.1.3.2. Graines de coriandre .....	63
5.2.1.3.3. Fenugrec .....	64
5.2.2. Aromates .....	65
5.2.2.1. Principaux produits .....	65
5.2.2.1.1. Verveine .....	65
5.2.2.1.2. Romarin .....	68
5.2.2.1.3. Thym .....	68
5.2.2.1.4. Origan .....	69
5.2.2.1.5. Menthe .....	70
5.2.2.2. Exportations en valeurs .....	71
5.2.2.2.1. Verveine .....	71
5.2.2.2.2. Romarin .....	72
5.2.2.2.3. Thym .....	72
5.2.2.3. Marchés .....	73
5.2.2.3.1. Verveine .....	73
5.2.2.3.2. Romarin .....	73
5.2.2.3.3. Thym .....	74
5.2.3. Plantes à parfums .....	74
5.2.3.1. Racines d'iris .....	74
5.2.3.2. Mousse d'arbre .....	76
5.2.4. Plantes médicinales .....	77
5.2.5. Plantes industrielles .....	78
5.2.6. Vue d'ensemble des exportations des PAM et dérivés .....	81
6. Conclusions .....	82
<b>Chapitre 3. Stratégie pour le développement du secteur des PAM.....</b>	<b>87</b>
1. Introduction .....	87
2. Valorisation du potentiel naturel .....	87
2.1. Exemples de travaux déjà réalisés .....	88
2.1.1. Maîtrise de la qualité commerciale des produits .....	88
2.1.2. Maîtrise des nomenclatures utilisées .....	89
2.1.3. Corrections d'idées et de propositions erronées .....	90
2.2. Exemples de travaux de recherches à réaliser .....	92
2.2.1. Fiches techniques et standardisation des produits .....	92
2.2.2. Sélection, mise en culture et diversification de la production .....	93
2.2.3. Mise au point de nouveaux produits .....	94
2.2.4. Sauvegarde des espèces et peuplements naturels .....	96
2.2.5. Meilleure valorisation des produits de cueillette .....	98
3. Connaissance du marché international .....	98

3.1. Grandes mutations du marché, concurrence et besoins d'adaptation .....	98
3.2. Besoin d'innovation permanente .....	100
3.3. Exigences de qualité .....	101
3.4. Opportunités du marché .....	102
4. Politique de produits et de production .....	103
4.1. Produits de culture .....	103
4.2. Plantes spontanées .....	104
4.3. Information pour l'organisation de la production .....	106
5. Technologies de production .....	106
5.1. Produits d'herboristerie et aromates alimentaires .....	106
5.1.1. Thym .....	107
5.1.2. Menthe douce .....	108
5.1.3. Romarin .....	108
5.2. HE et EA .....	109
6. Acteurs concernés par cette stratégie .....	110
6.1. Profession .....	110
6.2. Pouvoirs publics .....	110
6.3. Centres de recherche spécialisés .....	111
6.4. Organe de coordination .....	111
7. Conclusions .....	112
<b>Chapitre 4. Technologies de production des PAM séchées .....</b>	<b>115</b>
1. Introduction .....	115
2. Production des plantes séchées .....	115
2.1. Récolte .....	115
2.2. Séchage .....	116
2.3. Nettoyage .....	116
2.3.1. Découpage .....	116
2.3.2. Dépoussiérage .....	118
2.3.3. Nettoyage mécanique .....	118
2.3.4. Triage .....	118
2.4. Conditionnement et emballage des plantes .....	118
2.5. Stockage .....	119
2.6. Conservation .....	119
3. Technologie de séchage des PAM .....	120
3.1. Grandeurs thermodynamiques conditionnant l'opération de séchage .....	121
3.1.1. Humidité d'un produit (H) et son activité d'eau (aw) .....	121
3.1.2. Teneur en eau et humidité relative de l'air .....	123
3.1.3. Humidité relative d'équilibre et aw .....	123
3.1.4. Courbe de sorption d'un produit .....	124
3.1.5. Désorption et adsorption de l'eau par un produit biologique .....	126
3.1.6. Pouvoir hygroscopique d'un produit .....	128
3.1.7. Pouvoir évaporatoire (Pé) de l'air de séchage .....	130
3.1.8. Coefficient de séchage .....	131
3.2. Séchage par entraînement .....	133
3.2.1. Phase de mise en température du produit .....	138
3.2.2. Phase de séchage à vitesse constante .....	138
3.2.3. Phase de séchage à allure décroissante .....	138
3.3. Procédés de séchage des PAM .....	139

3.3.1. Séchage naturel .....	139
3.3.2. Séchage industriel classique .....	141
3.3.3. Séchage industriel utilisant l'énergie solaire .....	142
3.3.3.1. Eléments du séchoir solaire .....	143
3.3.3.2. Séchoirs industriels solaires pour PAM .....	143
3.3.3.2.1. Séchoir utilisant des capteurs tubulaires .....	143
3.3.3.2.2. Séchoir utilisant la structure d'une serre comme capteur .....	143
3.3.3.2.3. Séchoir solaire, type serre, de l'Université de Hohenheim Stuttgart- Allemagne .....	146
3.3.3.2.4. Séchoir solaire type CDER .....	146
4. Qualité des pAM séchées .....	152
4.1. Aspects et caractéristiques physiques .....	153
4.1.1. Couleur .....	153
4.1.2. Matières étrangères .....	156
4.2. Spécifications chimiques .....	157
4.3. Qualité bactériologique .....	159
4.4. Résidus de contaminants chimiques .....	161
5. Conclusions .....	163

## Chapitre 5. **Obtention des huiles essentielles et autres extraits aromatiques** .....

1. Introduction .....	165
2. Principaux extraits des PAM .....	165
2.1. Huiles essentielles .....	165
2.2. Concrètes .....	166
2.3. Absolues .....	167
2.4. Extraits au CO <sub>2</sub> supercritique .....	168
2.5. Extraits aux micro-ondes .....	172
2.5.1. Extraction assistée par micro-ondes en présence d'un solvant .....	172
2.5.2. Extraction aux micro-ondes, sous vide et en absence de solvant organique .....	173
2.6. Autres extraits classiques à intérêts aromatiques .....	174
2.6.1. Enfleurage ou extraction avec les graisses froides .....	174
2.6.2. Extraction par macération dans la graisse chaude .....	175
3. Distillation des plantes aromatiques .....	177
3.1. Mécanisme de la distillation par entraînement à la vapeur d'eau .....	177
3.2. Étapes de la distillation .....	178
3.2.1. Chargement de l'alambic en biomasse végétale .....	178
3.2.2. Production de vapeur pour l'entraînement de l'HE .....	178
3.2.3. Entraînement de l'HE par la vapeur d'eau .....	179
3.2.5. Séparation physique du mélange «huile essentielle / eau» .....	179
3.3. Principales variantes des procédés de distillation des plantes aromatiques .....	179
3.3.1. Hydrodistillation .....	179
3.3.2. Vapohydrodistillation .....	181
3.3.3. Vapodistillation .....	184
4. Conclusions .....	185

<b>Chapitre 6. Dimensionnement et installation d'une distillerie des PAM</b> .....	<b>187</b>
1. Introduction .....	187
2. Volume et capacité de charge d'un alambic .....	187
3. Production de vapeur d'eau .....	190
3.1. Estimation des besoins en vapeur d'eau .....	190
3.2. Sources d'énergie pour la production de vapeur .....	196
3.3. Choix du combustible .....	197
3.4. Pression de vapeur dans l'alambic .....	198
3.5. Formes de production de vapeur .....	199
4. Besoins en eau froide .....	202
5. Lieu d'installation d'une distillerie .....	205
5.1. Proximité de la biomasse végétale .....	205
5.2. Disponibilité de la main-d'œuvre .....	206
5.3. Ressources en eau .....	206
6. Gestion des sous-produits de la distillation .....	207
6.1. Sous-produits gazeux .....	207
6.2. Eaux blanches .....	208
6.3. Eaux de refroidissement .....	209
6.4. Résidu végétal de distillation .....	210
7. Conclusions .....	211
<b>Chapitre 7. Équipements pour la distillation des plantes aromatiques</b> .....	<b>213</b>
1. Introduction .....	213
2. Alambic .....	213
2.1. Formes et tailles des alambics .....	213
2.2. Couvercles de l'alambic .....	214
2.3. Col de cygne .....	217
2.4. Isolation .....	219
2.5. Métal de l'alambic .....	221
2.6. Faux fond .....	222
2.7. Diffuseur de vapeur .....	222
2.8. Alambics à grilles multiples .....	223
3. Condenseurs .....	223
3.1. Dimensionnement .....	223
3.2. Différents types de condenseurs .....	224
3.2.1. Condenseur à tube en zigzag .....	224
3.2.2. Condenseurs à tube en forme d'hélice .....	227
3.2.3. Condenseurs à tubes parallèles .....	227
3.3. Métal du condenseur .....	229
4. Essencier .....	230
4.1. Différents types de séparateurs .....	230
4.2. Métal du séparateur .....	231
5. Système de cohobation .....	233
6. Stockage .....	233
7. Quelques équipements modernes pour la distillation des PAM .....	235
7.1. Distillation à «bain-marie» .....	236
7.2. Extracteur HDF .....	238
7.3. Turbodistillation .....	239

7.4. Bennes mobiles à distiller ou «Containers» .....	240
7.5. Alambic agité .....	243
7.6. Distillation en continu .....	243
7.6.1. Procédé Aromaprocess .....	243
7.6.2. Procédé Biolande .....	244
8. Conclusions .....	247

## Chapitre 8. Principaux facteurs affectant la distillation des PAM ..... 249

1. Introduction .....	249
2. Facteurs liés à la conception de l'équipement .....	249
2.1. Effet de la colonne de rectification .....	249
2.2. Effet du calorifugeage de l'appareil de distillation .....	251
2.2.1. Effet du calorifugeage sur le rendement en HE .....	251
2.2.2. Effet du calorifugeage de l'appareil sur la couleur de l'HE .....	252
2.2.3. Effet du calorifugeage de l'appareil sur la composition chimique de l'HE .....	253
3. Facteurs liés aux procédés de distillation .....	254
3.1. Choix du procédé de distillation .....	254
3.2. Durée de distillation .....	256
3.2.1. Rendement en HE .....	256
3.2.2. Durée de distillation et composition chimique de l'HE .....	265
3.3. Charge de l'alambic en matériel végétal .....	266
3.4. Débit de vapeur .....	266
3.5. Effet du traitement du matériel végétal sur le rendement et la composition chimique de l'HE .....	266
3.5.1. Broyage du matériel végétal avant sa distillation .....	266
3.5.2. Séchage de la biomasse végétale avant distillation .....	268
3.5.3. «Maturation» de la matière première post-récolte .....	273
4. Facteurs liés à la nature de la plante et à la qualité de la matière première .....	273
4.1. Chimiotaxonomie .....	273
4.2. «Fragilité» chimique de certains constituants de l'HE .....	274
4.3. Nature du (des) produit(s) recherché (s) dans l'HE et son origine .....	274
4.4. Stade végétatif de la plante à la récolte .....	275
5. Conclusions .....	275

## Chapitre 9. Analyse technique de la production des PAM séchées au Maroc ..... 277

1. Introduction .....	277
2. Séchage .....	277
3. Nettoyage .....	279
3.1. Technologie traditionnelle .....	279
3.2. Technologie intermédiaire .....	279
3.3. Technologie moderne .....	282
4. Conditionnement et emballage des plantes .....	285
5. Technologie de la tisanderie .....	286
5.1. Réception de la matière première .....	287
5.2. Préparation des infusions .....	287
5.2.1. Concassage et nettoyage .....	287
5.2.2. Mélange des plantes .....	288

5.2.3. Conditionnement et stockage .....	289
5.3. Analyses de laboratoire .....	290
5.3.1. Matière première .....	291
5.3.2. Produit fini .....	291
6. Conclusion .....	292

## Chapitre 10. Analyse technique d'une expérience de distillation des PAM.....

293

1. Introduction .....	293
2. Équipements utilisés .....	294
2.1. Alambic .....	294
2.2. Couvercle .....	294
2.3. Système de réfrigération .....	294
3. Procédé de distillation .....	302
3.1. Montage de l'alambic pour la distillation .....	302
3.2. Opération de mise en distillation .....	303
3.3. Avantages et inconvénients de ce type de technologie .....	305
4. Durée de distillation .....	308
5. Charge de l'alambic.....	309
6. Consommation de vapeur .....	309
7. Traitement du matériel végétal avant sa mise en distillation .....	310
8. Maîtrise de la qualité du matériel végétal à la récolte .....	311
9. État de séchage de la plante avant sa distillation .....	312
10. Production de vapeur .....	312
11. Condensation de la vapeur .....	313
12. Conclusions .....	314

## Conclusions générales.....

315

## Références citées .....

327

## Liste des annexes, encadrés, figures & tableaux

Annexe 1. Liste des principales plantes aromatiques et/ou médicinales exportées par le Maroc à l'état de plantes (ou parties de plantes) séchées ..	319
Annexe 2. Principales espèces exploitées au Maroc pour la production d'huile essentielle et autres extraits aromatiques .....	323
Encadré 1. Classification des plantes incluses dans le secteur des PAM .....	21
Encadré 2. Culture des PAM sur des sols défavorables .....	22
Encadré 3. Importance socio-économique du secteur des PAM .....	22
Encadré 4. Importance de la culture et de l'exploitation des PAM .....	28
Encadré 5. Évolution du marché international des PAM et dérivés, des parfums, cosmétiques, arômes et produits similaires .....	33
Encadré 6. Principales caractéristiques du marché international des PAM et de leurs dérivés. Atouts et contraintes (cas des HE) .....	34
Encadré 7. Système de production des PAM de culture au Maroc .....	40
Encadré 8. Système de production des PAM spontanées au Maroc: forces et limites .....	42

Encadré 9. La profession d'exploitation des PAM au Maroc: forces et faiblesses .....	47
Encadré 10. Rentabilité des cultures des PAM (Cas du romarin) .....	95
Encadré 11. Techniques culturales des PAM .....	97
Encadré 12. Recommandation pour la récolte des PAM (Exemple du romarin) .....	99
Encadré 13. Choix de production dans le domaine des PAM .....	105
Encadré 14. Grandes lignes d'une politique de recherche-développement dans le domaine des PAM .....	113
Encadré 15. Conseils pratiques pour la récolte des PAM .....	117
Encadré 16. Conseils pratiques pour le conditionnement des PAM .....	119
Encadré 17. Caractéristiques physico-chimiques du produit et son aptitude au séchage .....	134
Encadré 18. Grandeurs thermodynamiques et physiques conditionnant les capacités de l'air pour le séchage par entraînement .....	135
Encadré 19. Éléments de calcul et de gestion d'un séchoir de PAM .....	136
Encadré 20. Dimensionnement d'un séchoir pour les PAM .....	137
Encadré 21. Construction d'un séchoir à claies .....	140
Encadré 22. Lexique des extraits des PAM .....	176
Encadré 23. Principaux éléments de calculs d'une distillerie .....	200
Encadré 24. Besoins en eau froide (Q <sub>e.f.</sub> ) pour le condenseur .....	203
Encadré 25. Consommation globale en eau d'une distillerie .....	204
Encadré 26. Contraintes pour le choix du lieu d'installation d'une distillerie .....	212
Encadré 27. Dimensionnement d'un condenseur à tube en zigzag .....	225
Encadré 28. Efficacités comparées des condenseurs .....	229
Encadré 29. Détermination de la durée pratique de distillation des PAM .....	264
Encadré 30. Condenseurs utilisés par les distillateurs traditionnels .....	297
Encadré 31. Proposition d'un schéma d'essencier simple à réaliser et à monter (pour les HE plus légères que l'eau) .....	300
Encadré 32. Recommandations pour le montage d'un alambic à feu nu fonctionnant en vapo-hydrodistillation .....	301
Encadré 33. Besoins en énergie pour la production de vapeur .....	313
Figure 1. Exportations marocaines en PAM et dérivés (en valeurs) .....	48
Figure 2. Produits des exportations marocaines en HE et EA .....	49
Figure 3. Exportations marocaines en HE et EA en millions de DH .....	53
Figure 4. Exportations marocaines en HE de menthe pouliot .....	54
Figure 5. Évolution des exportations du Maroc en piment doux et dérivés .....	61
Figure 6. Exportations marocaines en graines de coriandre .....	63
Figure 7. Schéma de différenciation des deux principales qualités des produits de verveine .....	67
Figure 8. Quatre isomères d'irone du beurre d'iris .....	75
Figure 9. Diagramme enthalpique de l'air humide .....	125
Figure 10. Isothermes de sorption d'un produit alimentaire .....	126
Figure 11. Courbes de désorption et d'adsorption d'une plante aromatique .....	127
Figure 12. Relation entre l'HRE de l'air de séchage et l'humidité résiduelle dans la plante séchée .....	128
Figure 13. Courbe d'équilibre hygroscopique de la camomille .....	129
Figure 14. Exemple d'équilibres hygroscopiques pour une plante aromatique à différentes températures de l'air de séchage .....	129

Figure 15. Pouvoir évaporatoire théorique de l'air à différentes températures	131
Figure 16. Coefficient de séchage selon les groupes	133
Figure 17. Séchage naturel avec claies mobiles	141
Figure 18. Séchoir solaire utilisant des capteurs tubulaires	144
Figure 19. Séchoir en tente semi-circulaire	145
Figure 20. Séchoir solaire type serre	147
Figure 21. Séchoir solaire type CDER	148
Figure 22. Influence de la température de séchage sur les pertes en huiles essentielles de quelques plantes aromatiques	159
Figure 23. Diagramme des états physiques du dioxyde de carbone	170
Figure 24. Schéma de principe d'extraction au CO <sub>2</sub> supercritique	171
Figure 25. Schéma de principe d'une unité industrielle d'extraction aux micro-ondes en continu en présence d'un solvant organique	173
Figure 26. Installation pilote pour extraction sous-vide par micro-ondes	174
Figure 27. Coupe schématique d'un alambic pour l'hydrodistillation	180
Figure 28 a. Coupe schématique d'un alambic pour la vapo-hydrodistillation	182
Figure 28 b. Exemple de fond chauffant par circuit de vapeur soudé	182
Figure 29. Schéma d'un appareil de distillation des plantes aromatiques à générateur de vapeur séparé de l'alambic	184
Figure 30. Cinétiques d'extraction comparées de quatre hydrocarbures pendant la distillation de <i>Tanacetum annuum</i> L.	192
Figure 31. Schéma d'un appareil pilote pour la vaphydrodistillation des plantes aromatiques	193
Figure 32. Appareil pilote pour la distillation des plantes aromatiques	195
Figure 33. Estimation du prix de revient d'une tonne de vapeur d'eau pour certains combustibles classiques (cas du Maroc)	197
Figure 34. Vue d'un montage de distillation d'iris équipé d'un long serpentín aérien reliant l'alambic au condenseur	215
Figure 35. Formes de couvercle et exemples de systèmes d'étanchéité entre l'alambic et son couvercle	216
Figure 36. Principales formes des cols de cygne dans les alambics de distillation des plantes aromatiques	218
Figure 37. Formes de serpentins de refroidissement	228
Figure 38. Exemples d'essenciers pour la séparation (par décantation) de l'HE	232
Figure 39. Schéma d'un appareil de distillation à bain-marie tel que décrit par le constructeur	237
Figure 40. Schéma d'un alambic à bain-marie avec un foyer latéral, utilisant la biomasse végétale comme source d'énergie	238
Figure 41. Schéma de principe d'un «turbo-distillateur»	240
Figure 42. Récolte pour une distillation dans un alambic en container sur champ de lavandin	241
Figure 43. Alambic de distillation en container parallélépipédique à la distillerie	242
Figure 44. Schéma d'un montage de distillation en continu	245
Figure 45. Schéma de distillation en continu selon le procédé Biolande	246
Figure 46. Cinétiques d'extraction des HE, par entraînement à la vapeur d'eau, à partir de deux plantes aromatiques	257
Figure 47. Cinétique de distillation, à l'aide d'un même appareil, de 3 plantes aromatiques	259

Figure 48. Production d'huile essentielle à partir du bois de cèdre ( <i>Thuya occidentalis</i> ) en fonction de la durée de la distillation (A) et de l'inverse de ce même paramètre (B) .....	263
Figure 49. Effet du séchage du matériel végétal, avant la distillation, sur les rendements en huiles essentielles (HE) obtenues par entraînement à la vapeur d'eau .....	269-271
Figure 50. Séchage naturel des plantes aromatiques directement sur le sol ..	278
Figure 51. Nettoyage des plantes aromatiques à l'aide de tamis manuels .....	279
Figure 52. Sasseur composé de deux tamis superposés .....	280
Figure 53. Aspirateur de poussière .....	280
Figure 54. Sasseur constitué de 3 tamis disposés sur un plan incliné .....	281
Figure 55. Photo d'un pyrateur .....	282
Figure 56. Unité de nettoyage des plantes aromatiques composée d'un pré-nettoyeur, d'un sélectionneur et d'un calibreur .....	283
Figure 57. Fosse munie d'une grille pour retenir les grosses impuretés .....	284
Figure 58. Pré-nettoyeur .....	284
Figure 59. Système de récupération des impuretés et des feuilles .....	284
Figure 60. Sélectionneur .....	285
Figure 61. Calibreur .....	285
Figure 62. Stockage du produit fini .....	286
Figure 63. Stockage de la matière première .....	287
Figure 64. Malaxeur à tambours pour le mélange des plantes .....	288
Figure 65. Malaxeur à tambours pour le mélange des plantes avec les arômes .....	288
Figure 66. Remplissage des sachets à l'aide d'une doseuse .....	289
Figure 67. Confection des sachets d'infusettes .....	289
Figure 68. Étiquetage des sachets .....	290
Figure 69. Mise en boîte des sachets d'infusettes .....	290
Figure 70. Pesage des boîtes d'infusettes .....	291
Figure 71. Schéma d'un alambic classique utilisé au Maroc pour la distillation des plantes aromatiques .....	295
Figure 72. Systèmes de fermeture des alambics couramment utilisés par les professionnels marocains .....	295
Figure 73. Serpentin en zigzag utilisé par les distillateurs traditionnels marocains .....	296
Figure 74. Condenseur constitué d'un serpentin en zigzag plongé dans un bassin artificiel construit en terre .....	296
Figure 75. Condenseur constitué d'un serpentin en zigzag plongé dans un cours d'eau naturel .....	298
Figure 76. Condenseur avec bassin artificiel construit en béton .....	298
Figure 77. Essencier pour la récupération des huiles essentielles, fréquent chez certains distillateurs traditionnels des plantes aromatiques au Maroc .....	299
Figure 78. Pratique courante au Maroc pour la distillation des PAM: montage des alambics dont une bonne partie est enterrée .....	302
Figure 79. Montage d'un alambic sur le flanc d'une rivière .....	303
Figure 80. Tassement de la charge de l'alambic par foulage aux pieds .....	304
Figure 81. Schéma d'un serpentin en zigzag construit en plusieurs pièces amovibles .....	307

Planche hors texte .....	36
Planche hors texte .....	164
Tableau 1. Productions mondiales des huiles essentielles par ordre de chiffres d'affaires décroissants .....	25
Tableau 2. Principales productions françaises de PAM cultivées ou cueillies par ordre de chiffres d'affaires (CA) décroissants .....	26
Tableau 3. Principales productions françaises de PAM cultivées, par ordre de surfaces décroissantes .....	27
Tableau 4. Exportations marocaines en épices et produits similaires .....	60
Tableau 5. Exportations marocaines de diverses plantes (feuilles) ou aromates (en millions de DH) .....	66
Tableau 6. Exportations marocaines en racines d'iris et mousse d'arbre .....	76
Tableau 7. Exportations marocaines des PAM .....	78
Tableau 8. Exportations marocaines annuelles (moyennes de 1995 à 2003) du secteur des PAM et dérivés (millions de DH) .....	81
Tableau 9. Opportunités du marché américain pour quelques plantes aromatiques destinées à l'herboristerie et à l'aromatisation alimentaire .....	102
Tableau 10. Teneur en eau à la récolte de 20 plantes .....	122
Tableau 11. Comportement des plantes au séchage .....	132
Tableau 12. Caractéristiques techniques du système d'entraînement par réseau .....	149
Tableau 13. Liste des éléments nécessaires pour la construction du séchoir solaire type CDER pour le séchage des plantes médicinales et aromatiques .....	151
Tableau 14. Grandeurs caractéristiques pour le séchage de la menthe dans le séchoir solaire alimenté par réseau .....	152
Tableau 15. Critères de qualité des plantes aromatiques et solutions pour correction des défauts .....	154
Tableau 16. Tolérances, aspect et caractères physiques pour la verveine .....	157
Tableau 17. Normes de la pharmacopée française concernant la teneur en eau et en huiles essentielles (HE) de quelques plantes médicinales .....	160
Tableau 18. Spécifications chimiques pour le romarin et la verveine .....	161
Tableau 19. Caractéristiques bactériologiques de la verveine .....	161
Tableau 20. Résidus de pesticides dans les plantes aromatiques et médicinales .....	162
Tableau 21. Résidus de contaminants chimiques dans la verveine .....	162
Tableau 22. Effet de la charge et de la forme* sur le rendement en huile essentielle d' <i>E. camaldulensis</i> Dehn .....	188
Tableau 23. Hydrodistillation de la menthe poivrée .....	191
Tableau 24. Effet du débit de vapeur sur le rendement en huile essentielle d' <i>E. camaldulensis</i> Dehn obtenue par vapo-distillation .....	193
Tableau 25. Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de quelques combustibles disponibles au Maroc .....	196
Tableau 26. Coûts normalisés de l'énergie pour les différents combustibles au Maroc .....	198
Tableau 27. Estimation des pertes thermiques dans une conduite en acier doux (A42) non isolée .....	220

Tableau 28. Effet de la vitesse de l'air sur les pertes thermiques .....	220
Tableau 29. Exemple de matériaux d'isolation disponibles sur le marché marocain .....	221
Tableau 30. Effet de la colonne de rectification sur le rendement et la couleur de l'HE d' <i>E. camaldulensis</i> Dehn .....	250
Tableau 31. Effet du calorifugeage de l'appareil de distillation sur le rendement en HE (% MS) pour une durée de distillation de 50 min .....	252
Tableau 32. Effet du calorifugeage de l'alambic sur la couleur de l'HE d' <i>E. camaldulensis</i> Dehn.....	252
Tableau 33. Conditions pratiques de distillation.....	254-255
Tableau 34. Applications des deux relations (6 et 7) pour la modélisation de l'entraînement de l'HE par la vapeur d'eau .....	262

**Conception et réalisation: Actes Éditions,**  
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,  
B.P. 6202-Instituts,  
Madinat Al Irfane, 10101, Rabat, Maroc  
e-mail: m.ettalibi@iav.ac.ma

**Flashage et Impression: ImprimÉlite, Salé**  
Achévé d'imprimer: 2<sup>ème</sup> trimestre 2005