

50376
1988
151

50376
1988
151

N° d'ordre : 214

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE FLANDRES ARTOIS

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES

par

BADOC Alain

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DU GENRE
FOENICULUM MILL.**



Soutenu le 4 Juillet 1988 devant la Commission d'Examen

M. R.	BOURIQUET	Président
M. P.	DESMAREST	Rapporteur
M. R.	GAUTHERET	Rapporteur
M. R.	JEAN	Examineur

RESUME

On distingue habituellement pour le fenouil, *Foeniculum vulgare* Mill., les sous-espèces *piperitum* et *vulgare* (= *capillaceum*), et plusieurs variétés dont certaines connaissent un regain d'intérêt en France. C'est en particulier le cas du "fenouil amer" (var. *vulgare*), cultivé pour son essence riche en anéthole, principe des boissons anisées, et du "fenouil bulbeux" (var. *azoricum*), dont on consomme les gaines des feuilles inférieures renflées en "bulbe".

Nous avons regroupé les données bibliographiques susceptibles d'avoir un intérêt taxonomique, tirées de la morphologie, l'histologie, la chimie, l'ethnobotanique et la répartition géographique.

Parallèlement une étude expérimentale a été menée. Par chromatographie en phase gazeuse de l'essence de plus de 100 lots de semences de diverses origines, nous observons plusieurs groupes selon la présence ou non de myristicine, trans-anéthole, estragole, les rapports trans-anéthole / estragole, α -pinène / limonène et la teneur en essence. La sous-espèce *piperitum*, la variété *azoricum* et les fenouils ornementaux à feuillage roux se distinguent nettement *in vivo*. L'observation histologique des feuilles met en évidence la particularité du fenouil bulbeux à former une large gaine sans augmentation notable de l'importance des faisceaux libéro-ligneux et des canaux sécréteurs. L'analyse de l'essence akène par akène d'un échantillon d'Argentine révèle une forte fluctuation des teneurs en trans-anéthole et estragole. L'état hybride entre fenouils différant par les pourcentages d'estragole et d'anéthole de l'essence des fruits a pu être démontré.

Ces données nous permettent d'aborder la nomenclature du genre *Foeniculum* qui semble monospécifique: *Foeniculum scoparium* Quézel par son profil doit être rattaché à la sous-espèce *vulgare*. Les fenouils riches en estragole ont été souvent confondus avec la sous-espèce *piperitum*, dont le profil de l'essence des fruits est particulier. Les profils ne permettent pas de distinguer nettement les fenouils amer et doux: des formes intermédiaires existeraient. La taille et le poids des fruits facilitent certaines distinctions, en particulier entre les fenouils bulbeux et d'Asie orientale. Nous avons aussi discuté de l'origine des fenouils cultivés et des causes de la forte variabilité naturelle observée. Nous faisons par ailleurs part de perspectives de sélection suggérées par notre travail; nous proposons en particulier des normes pour la commercialisation des fruits condimentaires.

MOTS-CLES

fenouil *Foeniculum vulgare* *Foeniculum scoparium*
subsp. *piperitum*, subsp. *vulgare* = *capillaceum*
var. *dulce*, var. *vulgare*, var. *panmorium*, var. *azoricum*
essence fruit
terpènes estragole anéthole myristicine
chimiotaxonomie taxonomie ethnobotanique
histologie feuille
pollinisation hybridation normalisation des semences

ABSTRACT

Sub-species *piperitum* and *vulgare* (= *capillaceum*) are usually distinguished for the fennel, *Foeniculum vulgare* Mill., as several varieties, some of them having a renewal of interest in France. This is particularly the case of "bitter fennel" (var. *vulgare*), cultivated for its essential oil rich in anethole, principle of anised beverages, and for "bulbous fennel" (var. *azoricum*), whose sheaths of inferior leaves swollen in a "bulb" are eaten.

Bibliographical data likely to be of taxonomic interest, taken from morphology, histology, chemistry, ethnobotany and geographical distribution have been gathered.

Besides, an experimental study has been undertaken, and by gas liquid chromatography of the essential oil of more than 100 specimens of fennel seeds of different origins, several groups have been observed according to the presence or absence of myristicin, trans-anethole, estragole, the ratios trans-anethole / estragole, α -pinene / limonene and the essential oil content. The sub-species *piperitum*, the variety *azoricum* and the ornamental fennels with reddish-brown foliage are clearly distinguished *in vivo*. The histological observation of leaves underlines the particularity of bulbous fennel to form a large sheath without a notable increasing of the importance of vascular bundles and secretory canals. The analysis mericarp by mericarp of the essential oil of a sample from Argentine shows an important fluctuation of the contents in trans-anethole and estragole. The hybrid state between fennels differing by percentages of estragole and anethole of the essential oil of fruits could be demonstrated.

These data permit to approach the nomenclature of genus *Foeniculum* that seems monospecific: *Foeniculum scoparium* Quézel by its profile must be included in the sub-species *vulgare*. Fennels rich in estragole have often been confused with sub-species *piperitum*, whose composition of essential oil of fruits is particular. The profiles do not permit to distinguish clearly bitter and sweet fennels: intermediate forms would exist. The size and weight of fruits facilitate certain distinctions, in particular between bulbous and Eastern Asiatic fennels. The origin of cultivated fennels and causes of the important natural variability observed have also been discussed. Moreover, perspectives of selection suggested by our work have been given; in particular, norms have been proposed for the marketing of condimentary fruits.

KEY WORDS

fennel *Foeniculum vulgare* *Foeniculum scoparium*
subsp. *piperitum*, subsp. *vulgare* = *capillaceum*
var. *dulce*, var. *vulgare*, var. *panmorium*, var. *azoricum*
essential oil of fruits
terpenes estragole anethole myristicin
chemotaxonomy taxonomy ethnobotany
histology leaves
pollination hybridization seed standardization

REMERCIEMENTS

Je suis profondément reconnaissant envers feu Mademoiselle le Professeur C. Paupardin et Monsieur le Professeur R. Bouriquet d'avoir accepté de diriger cette nouvelle thèse au Laboratoire de Physiologie végétale de l'Université de Lille I.

Je suis reconnaissant envers Monsieur P. Valck, Conservateur du Jardin Botanique du Montet de la Ville et de l'Université de Nancy, de m'avoir permis d'accéder à leur collection d'*Index seminum* et leur bibliothèque spécialisée.

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la participation des Jardins Botaniques, Instituts, établissements spécialisés et personnes qui ont répondu à mes demandes d'échantillons, en particulier le Jardin Botanique de Liège, l'Institut de Recherches Appliquées aux Boissons (I.R.A.B.), les Etablissements Clause, Mesdemoiselles M.H. Bouvelle, I. Ochin, L. Pihours et Messieurs S. Bryer, M. Fabre, M. Hossain, H. Kellerstam, A. Lamarti, L. Legrand, N.M. Talukder et R. Tizio.

L'aide de Mesdemoiselles M. Gricourt et C. Michi a été précieuse pour l'interprétation des noms vernaculaires, et celle de Monsieur L. Rogez, Conservateur du Muséum d'Histoire Naturelle de Lille, pour la détermination des insectes pollinisateurs du fenouil.

Ce travail, commencé dans le cadre d'un contrat d'allocataire de recherche, n'aurait pu être mené à terme sans l'aide financière et matérielle de mes parents et de mes grands-parents.

Je n'oublierai pas l'aide irremplaçable du personnel des Bibliothèques de Paris, Lille et Nancy, celle de Mademoiselle F. Grumetz en 1983 et le travail d'équipe mené depuis plusieurs années avec Monsieur A. Lamarti.

Les remarques de Monsieur G. Hunault, de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), ont été bienvenues.

Je sais gré à Monsieur le Professeur R. Bouriquet d'avoir accepté de présider le Jury de cette thèse.

Je remercie enfin Monsieur P. Desmarest, ingénieur au Centre de Recherche Pernod Ricard, Monsieur le Professeur R. Gautheret et Monsieur R. Jean, Professeur à l'Université des Sciences et Techniques de Lille, d'avoir bien voulu juger mon travail.

TABLE DES MATIERES

	page
A INTRODUCTION	1
1) Motivations	1
2) Plan général adopté	3
B PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	5
I DEFINITION DU GENRE FOENICULUM	5
1) Introduction	5
2) Désignations latines	6
a) Nom d'espèce	6
b) Sous-espèce <i>piperitum</i>	6
c) Sous-espèce <i>vulgare</i>	7
α) Variété <i>vulgare</i>	8
β) Variétés <i>dulce</i> et <i>azoricum</i>	8
γ) Variété <i>panmorium</i>	9
3) Description botanique du fenouil	12
a) Germination	13
b) Plantule	13
c) Racine	14
d) Tige	15
e) Feuilles	16
f) Mise à fleur	19
g) Inflorescence	20
α) Ombelle	20
β) Fleur	21
h) Fruit	22
α) Morphologie et caractères organoleptiques	22
β) Rendement en fruits	25
4) Données histologiques	26
a) Introduction	26
b) Canaux sécréteurs primaires	27
c) Canaux sécréteurs secondaires	27
d) Bandelettes	28
e) Feuille	29
f) Fruit	31
5) Taxons pouvant être rattachés au fenouil	32
a) Cas particulier de <i>Foeniculum luteum</i> et <i>F. aromaticum</i>	32
b) Formes intermédiaires entre les 2 sous-espèces	32
c) Taxons pouvant être rattachés à la sous-espèce <i>piperitum</i>	33
d) Taxons pouvant être rattachés à la sous-espèce <i>vulgare</i>	34

	page
6) Essai de délimitation du genre <i>Foeniculum</i>	35
a) Introduction	35
b) Fenouil du Tibesti	36
c) Espèces intermédiaires entre le fenouil et l'aneth	36
d) Définition provisoire du genre <i>Foeniculum</i>	36
 II ORIGINE DES FENOUILS	 41
1) Introduction	41
2) Cas particulier de <i>Foeniculum scoparium</i> Quézel	41
3) Données historiques	42
a) Antiquité	42
b) Moyen-âge (395 à 1453 apr. J.-C)	44
c) Du 15 ^{ème} au 17 ^{ème} siècle	44
d) Origine et expansion des fenouils cultivés	45
α) Fenouils doux et amer	45
β) Variété <i>azoricum</i>	47
γ) Fenouils d'Asie orientale	48
e) Stabilité des variétés	49
4) Aire géographique du fenouil à l'état sauvage	51
5) Noms vernaculaires du fenouil	52
a) Dénominations dérivées de l'égyptien ancien	52
b) Dénominations dérivées du grec	52
c) Désignations des pays de l'Est	53
d) Dénominations dérivées du latin	53
e) Désignations dérivées du sanscrit	54
f) Dénominations dérivées du persan	55
g) Désignations en Chine et au Japon	55
h) Autres dénominations	56
α) Liées à une autre espèce	56
β) Evoquant une propriété particulière	56
γ) Désignations restant à étudier	57
i) Dénominations des différentes sous-espèces et variétés	57
6) Conclusion	58
 III CHIMIOTAXONOMIE DU FENOUIL	 61
1) Introduction	61
2) Facteurs influençant les caractéristiques de l'essence des fruits	63
a) Degré de mûrissement	63
α) Profil	63
β) Teneur	63
b) Pratiques culturelles	64
c) Influence du climat	65
d) Période de récolte	66
e) Stockage des fruits	66
α) Teneur	66
β) Profil	68

	page
f) Mode d'extraction	68
α) Distillation	68
β) Solvants	69
γ) Volatilisation directe de l'essence	70
g) Stockage de l'essence	70
h) Méthode d'analyse	71
i) Mode de calcul et expression des résultats	72
3) Essence des fruits	72
a) Profil	72
b) Teneur	77
c) Variabilité au sein d'un même lot	79
4) Essence des parties souterraines et de la plantule	79
5) Essence des parties aériennes	80
6) Autres composés chimiques	81
a) Flavonols	81
b) Coumarines	81
c) Lipides	82
C PARTIE EXPERIMENTALE	83
I MATERIEL ET METHODES	83
1) Echantillons de fenouils	83
2) Analyse des lots de semences	83
a) Introduction	83
b) Observation des fruits	89
c) Extraction	90
d) Chromatographie en phase gazeuse	91
α) Conditions opératoires	91
β) Détermination des pics	92
γ) Etalonnage interne	94
δ) Expression des résultats	97
3) Culture en champ	97
4) Observations histologiques	99
a) Fixation	99
b) Deshydratation	99
c) Inclusion	99
d) Coupe	100
e) Montage	100
5) Hybridations	101
6) Calculs statistiques	101
II CARACTERES DIFFERENTIELS DES 113 LOTS	103
1) Essence des fruits	103
a) Introduction	103
b) Echantillons 1-3	104
c) Echantillons 4-5	104
d) Echantillons 6-32	106

	page
e) Echantillons 33-48	110
f) Echantillons 49-85	115
g) Echantillons d'Asie orientale	119
h) Fruits de fenouil bulbeux	121
i) Conclusion	123
α) Subdivision des divers lots	123
β) Analyse des coefficients de corrélation	130
2) Caractères des fruits	132
a) Echantillons 1-5	132
b) Echantillons 6-32	132
c) Echantillons 33-48	134
d) Echantillons 49-85	134
e) Fenouils d'Asie orientale	137
f) Fruits de fenouil bulbeux	138
g) Conclusion	138
α) Caractéristiques des divers groupes de lots	138
β) Analyse des coefficients de corrélation	140
3) Observation des plantules	141
4) Observation de la plante adulte	145
a) Feuilles	145
b) Tige et ramifications	149
c) Inflorescence	151
5) Observation histologique des feuilles	153
a) Introduction	153
b) Structure générale	156
c) Taille des canaux sécréteurs	159
d) Conclusion	161
 III VARIABILITE OBSERVEE SUR UNE AIRE GEOGRAPHIQUE LIMITEE	 163
1) Fenouils sauvages de la région de Béziers	163
2) Fenouil de Luján de Cuyo	166
a) Introduction	166
b) Essence akène par akène	167
c) Caractères des akènes du lot n°48	173
d) Analyse des coefficients de corrélation	174
3) Conclusion	175
 IV RECHERCHE DE FACTEURS INDUISANT UNE VARIABILITE GENETIQUE	 177
1) Introduction	177
2) Influence de la sélection	178
a) Lots 70-74	178
b) Clones C et L	180
c) Action de la colchicine sur des explantats de fenouil doux	182
3) Biologie florale du fenouil et essais d'autopollinisation	186

	page
4) Hybridations	189
a) Introduction	189
b) Caractères morphologiques	189
c) Caractères de l'essence des fruits	190
α) ♀ 15a X ♂ 112a	190
β) ♀ 62b X ♂ 68b	191
γ) ♀ 62b X ♂ 110b	192
δ) ♀ 63b X ♂ 92a	192
D DISCUSSION ET CONCLUSION	195
1) Introduction	195
2) Facteurs génétiques à l'origine de la variabilité observée	196
a) Introduction	196
b) Allogamie	196
α) Pollinisation par les insectes	196
β) Autofécondation et pollinisation croisée	197
c) Variabilité d'origine humaine	199
3) Systématique des fenouils	200
a) Sous-espèce <i>piperitum</i>	200
b) Sous-espèce <i>vulgare</i>	202
α) Séries 1 et 2	202
β) Variété <i>vulgare</i>	202
γ) Variété <i>azoricum</i>	203
δ) Variété <i>dulce</i>	204
ε) Fenouils à feuillage brun	204
c) Chémodèmes	205
d) Critique de l'esprit du C.I.N.B.	206
e) Genre monospécifique	207
4) Origine des fenouils	208
5) Déterminisme génétique et voies de biosynthèse	209
a) Introduction	209
b) Caractères des fruits	210
c) Liaison entre les caractères morphologiques et chimiques	210
d) α-pinène	211
e) Fenchone	211
f) Anéthole et estragole	211
g) Composés d'oxydation	212
6) Améliorations envisageables à partir de la variabilité naturelle	213
a) Introduction	213
b) Recherche de meilleurs caractères agronomiques	213
c) Fenouils ornementaux	214
d) Fenouils bulbeux	214
e) Fenouils condimentaires	214
f) Obtention industrielle d'essence	216
E BIBLIOGRAPHIE	219

A INTRODUCTION

1) Motivations

Depuis plusieurs années notre Laboratoire travaille sur le fenouil, *Foeniculum vulgare* Mill. . Une meilleure connaissance de la systématique de cette plante nous a paru utile.

Selon de nombreux auteurs, il existerait 2 sous-espèces:

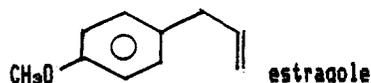
- subsp. *piperitum* (Ucria) Coutinho, ou "fenouil d'âne", non cultivé, dont les feuilles présentent des segments très courts et charnus.
- subsp. *vulgare*, encore appelée *capillaceum* (Gilib.) Holmboe, dont les feuilles ont des segments plus longs et non rigides.

On distingue pour cette dernière habituellement les 4 variétés suivantes:

- * var. *vulgare* (Mill.) Thell., sauvage ou cultivée pour l'obtention du trans-anéthole, principe des boissons anisées. On l'appelle "fenouil amer", en raison du goût jugé peu agréable de ses fruits.
- * var. *azoricum* (Mill.) Thell., ou "fenouil bulbeux", dont on consomme les gaines renflées et charnues des feuilles inférieures.
- * var. *dulce* (Mill.) Thell., ou "fenouil doux", cultivé et donnant une essence plus riche en trans-anéthole que celle du "fenouil amer".
- * var. *panmorium* DC., cultivée en Inde principalement pour les fruits, qui servent d'apéritif, et parfois incluse dans la variété précédente.

La détermination est d'autant plus difficile qu'il existerait des formes intermédiaires.

Les caractères de l'essence des fruits permettent une séparation apparemment aisée des fenouils doux et amer, mais l'huile essentielle des autres variétés a été peu étudiée. De plus, on a signalé des fenouils dont l'essence des fruits présente comme principal constituant de l'estragole, et non son isomère, le trans-anéthole, comme c'est le cas pour les 4 variétés couramment admises pour la sous-espèce *vulgare*.



Des observations histologiques préliminaires réalisées à l'Institut de Recherches Appliquées aux Boissons (I.R.A.B.) mettaient en évidence un nombre de canaux sécréteurs différent dans les feuilles des variétés *dulce* et *vulgare* (GAUTHERET et PAUPARDIN, 1983, comm. pers.).

Il nous a donc semblé opportun de réunir un maximum de lots de semences de diverses origines. Nous pensions pouvoir départager aisément chaque taxon par l'analyse de leur essence et l'observation des caractères morphologiques différentiels, suivie d'une étude anatomique des feuilles de quelques pieds d'aspects différents.

L'INDEX de KEW mentionne plusieurs autres espèces de fenouil, dont certaines ne nous paraissent pas présenter une dénomination correcte. Leur étude est souhaitable et nécessite au préalable une bonne connaissance d'autres Umbellifères considérées comme voisines du fenouil. C'est le cas de l'aneth, *Anethum graveolens* L., sur lequel nous avons déjà travaillé:

- Les genres *Anethum* L., *Foeniculum* Mill. et *Ridolfia* Moris peuvent être réunis (BADOE, 1986a) dans la tribu des *Ammineae* de la classification des Umbellifères de CERCEAU-LARRIVAL (1962), basée principalement sur les caractères des plantules et du pollen. Les *Ammineae* appartiennent à la lignée cotylédonaire L (long), où les cotylédons sont linéaires ou allongés-lancéolés, par opposition à la lignée cotylédonaire R (rond), où ils sont arrondis, ovales, oblongs, ou ovales-lancéolés. Nous avons émis des réserves sur le bien-fondé de la division de la famille en ces 2 lignées, mais les caractères des cotylédons nous sont apparus néanmoins comme taxonomiquement importants.

- Nous avons (BADOC, 1986b) étudié le genre *Anethum* et trouvé après analyse de l'essence des semences de diverses origines 3 "chénotypes" et une forte variabilité, entre les échantillons et pour un même lot. Nos résultats et les données bibliographiques nous ont permis de proposer des hypothèses phylogéniques, des voies de sélection, et d'entrevoir un déterminisme génétique probablement simple pour quelques composés.

On est en droit d'attendre autant d'une recherche du même type pour le genre *Foeniculum*.

Comme pour l'aneth, une éventuelle variabilité au sein d'un lot de semences a été recherchée par une analyse de l'essence akène par akène. Ces derniers ont été considérés comme représentant chacun un individu.

Nous avons cherché à préciser la diminution de la variabilité suite à la sélection massale récurrente et au clonage du fenouil amer. Les semences provenant de 13 clones de fenouil doux, cultivés *in vitro* en présence ou non de colchicine et obtenus à l'I.R.A.B. en 1980 par Paupardin, ont été mises à profit pour étudier l'impact de cette substance sur les caractères de l'essence des fruits.

Nous avons, enfin, voulu vérifier si la variabilité de l'essence des fruits était due à une éventuelle hybridation intervariétale. Nous nous sommes intéressé à la biologie florale du fenouil et une série d'hybridations entre différents pieds a été réalisée en 1983. Le peu de semences obtenues a été semé en 1984 mais les mauvaises conditions agronomiques ont entraîné une faible fructification.

2) Plan général adopté

Dans une première partie, bibliographique, nous considérons l'apport de la morphologie, de l'histologie et de la chimie à la compréhension de la taxonomie des fenouils; nous abordons, avec l'ethnobotanique et la répartition géographique, le problème de l'origine du fenouil et de ses variétés.

La deuxième partie, expérimentale, présente une description du matériel et des méthodes suivie des résultats, regroupés en 3 chapitres:

- 1) Nous donnons tout d'abord les caractères des fruits et de leur essence, puis nous traitons des différences morphologiques remarquées dans les terrains d'essais de la Faculté. Enfin, nous présentons les résultats d'une étude histologique sur les feuilles de quelques pieds.

- 2) Nous recherchons une éventuelle variabilité des caractères de l'essence des fruits, à partir de semences récoltées dans le sud de la France et en Argentine sur une aire géographique limitée.
- 3) Nous traitons de l'influence de la sélection, du clonage et de l'action de la colchicine, puis nous faisons part de nos observations sur la pollinisation du fenouil et exposons les résultats de nos hybridations.

Suit une discussion où, après avoir abordé quelques facteurs à l'origine d'une plus grande variabilité naturelle, nous nous penchons sur le délicat problème de la classification infraspécifique, puis de l'origine des fenouils. Nos données nous permettent de proposer quelques hypothèses sur le déterminisme génétique de quelques caractères. Nous terminons par une réflexion sur les perspectives de sélection qui peuvent être envisagées à partir de l'exploitation de la variabilité naturelle.

B PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE
I DEFINITION DU GENRE *FOENICULUM*

1) Introduction

La séparation des taxons est une tâche généralement ardue chez les Umbellifères, comme pour toute famille présentant une forte homogénéité de caractères. Les données morphologiques et histologiques ont surtout été utilisées et suffisent encore dans la plupart des cas actuellement.

Dans le cas du genre *Foeniculum*, une approche logique consiste à considérer dans un premier temps l'espèce type, en l'occurrence le "fenouil".

Pour simplifier, nous avons retenu les subdivisions les plus fréquemment citées; nous avons recherché leur désignation latine la plus correcte, puis, à travers une description principalement morphologique de l'espèce, fait ressortir les caractères permettant leur distinction, tout en tenant compte des facteurs susceptibles d'influencer ces caractères. Nous abordons séparément les caractères histologiques susceptibles d'avoir un intérêt taxonomique.

Nous précisons alors la position infraspécifique de divers fenouils peu connus pouvant être rattachés à *Foeniculum vulgare* Mill., puis nous envisageons de manière critique, à partir des données morphologiques et histologiques, les principales autres espèces incluses par divers auteurs dans le genre *Foeniculum*. Il devient alors possible de proposer une définition de ce genre.

2) Désignations latines

a) Nom d'espèce

D'après le Code International de la Nomenclature Botanique (C.I.N.B., 1983, article 13), la validité des noms scientifiques des Angiospermes débute en 1753 avec la première édition du *Species Plantarum* de LINNAEUS. Ce dernier n'a pas retenu le genre *Foeniculum* et appelle le fenouil "*Anethum Foeniculum* L.", par suite de nombreux caractères morphologiques communs avec l'aneth, *Anethum graveolens* L.: feuilles profondément divisées, ombelles composées, absence d'involucre et d'involucelle, calice peu marqué, pétales jaunes réfléchis vers l'intérieur. Mais les fruits de l'aneth sont fortement aplatis, contrairement à ceux du fenouil, et le genre *Foeniculum* est réintroduit en 1754 par MILLER. Cet auteur n'applique pas encore à cette époque la nomenclature spécifique binomiale de façon constante et les noms d'espèces ne peuvent être retenus (C.I.N.B., article 23). Il en est de même de ceux proposés par HILL en 1756. La désignation admise aujourd'hui, *Foeniculum vulgare* Mill., est due à MILLER, mais ne date que de 1768. Pour les synonymes, qui se comptent par dizaines, on pourra consulter l'INDEX de KEW, l'INDEX de LONDRES, HEGI et al. (1926), BRIQUET et LITARDIERE (1938), MARTÍNEZ-CROVETTO (1947), etc...

Foeniculum vulgare Mill., dans sa définition actuelle, correspond pour de nombreux auteurs à plusieurs espèces. Ainsi, on a souvent considéré le "fenouil d'âne" comme espèce à part. KOSO-POLJANSKY (1916) a même envisagé 3 espèces qu'il inclut dans le "sous-genre *Foeniculum* K. Pol." du genre *Seseli* L. . Mais ses hypothèses nous paraissent basées trop exclusivement sur les caractères histologiques des fruits et cet auteur en arrive à être en désaccord avec l'habituelle distinction entre les sous-espèces *vulgare* et *piperitum*: "*S. Foeniculum* K. Pol." et "*S. piperitum* K. Pol." sont séparés de "*S. dulce* K. Pol."

b) Sous-espèce *piperitum*

La désignation latine la plus ancienne du "fenouil d'âne" donnée par BRIQUET et LITARDIERE (1938) est "*Anethum piperitum* Ucria" et date de 1796 (Roemer (J.J.), *Arch. Bot.*, 1(1): 68). Cependant l'INDEX de KEW (suppl. 13, 1959) mentionne "*Anethum piperitum* Bernardino", qui daterait de 1793 (*Nuov. Racc. Opusc. Aut. Sicil.*, 6: 250). Ce travail est dû en fait à Ucria (Bernardino da) et daterait plutôt de 1788; nous n'avons pu malheureusement

nous procurer les documents de cet auteur, même dans leur réédition de 1959 (voir STAFLEU et COWAN, 1986, 6: 562).

HEGI et al. (1926) et BRIQUET et LITARDIERE (1938) donnent la plupart des synonymes de ce taxon, qui a été inclus, outre le genre *Anethum*, dans *Ligusticum* et *Meum* dès 1820, dans *Foeniculum* dès 1826, et dans *Seseli*, en particulier par KOSO-POLJANSKY (1916). Divers noms d'espèce, sous-espèce ou variété ont été attribués au fenouil d'âne: *ammoides*, *anisinum* (voir CANDOLLE, 1830), *divaricatum*, *piperatum*, *piperinum*, *piperitum* et *rigidum*. On admet actuellement la dénomination "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *piperitum* (Ucria) Coutinho", qui date de 1913. Cependant si "Ucria" n'a pas besoin d'être abrégé en "Ucr." car il s'agit d'un nom court, "Coutinho" doit l'être en "Cout." (C.I.N.B., 1983, article 46).

c) Sous-espèce *vulgare*

La fréquente désignation, "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *capillaceum* (Gilib.) Holmboe" date d'un document de 1914, "*Stud. veget. Cypr.: 140*", que nous n'avons pas trouvé. De même, nous n'avons pu nous procurer l'édition de 1781 (d'après STAFLEU et COWAN, 1976) de la flore de Lithuanie où Gilibert pourrait avoir été le premier à utiliser le terme "*capillaceum*", qui signifie "en forme de cheveux". Cette édition (C.I.N.B., 1983, article 23) n'applique pas de façon constante le système linnéen de nomenclature et les noms d'espèces sont à rejeter. De plus, dans l'édition de 1785, il est question d'"*Anethum foeniculum* L.", plante annuelle d'odeur et saveur suaves, et l'appellation "*Foeniculum capillaceum* Gilib. ex auct." d'ARCANGELI (1894) autorise à douter que Gilibert ait utilisé le terme "*capillaceum*". Pour les synonymes, on se reportera à LOJACONO-POJERO (1891), BLATTER (1919), BRIQUET et LITARDIERE (1938), etc...

La désignation "subsp. *capillaceum*" ne répond pas à l'esprit du Code International de la Nomenclature Botanique (1983) sur les "autonymes", c'est à dire sur les "noms de tout taxon infraspécifique qui comprennent le type du nom légitime adopté pour l'espèce à laquelle ils appartiennent". L'article 22.2 dit que "la première publication valide d'un nom de subdivision de genre qui n'inclut pas le type du nom légitime adopté pour le genre, établit automatiquement l'autonyme correspondant". Donc, en considérant le "fenouil d'âne" comme sous-espèce de *Foeniculum vulgare* Mill., on établit automatiquement l'existence d'une sous-espèce *vulgare*.

L'autonyme doit de plus (article 26) "porter comme épithète finale l'épithète inchangée du nom de l'espèce et ne pas être suivi d'un nom d'auteur". Quelques auteurs (GARCKE, 1972; GUINOCHET et VILMORIN, 1975) écrivent effectivement "*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *vulgare*".

On distingue classiquement les variétés *vulgare*, *dulce*, *azoricum* et *panmorium*. Cependant, HEGI et al. (1926) les trouvent faiblement séparées et se demandent si on ne devrait pas les estimer seulement comme des formes. D'autres auteurs ont pris le parti de ne parler que de la variété *azoricum* (TUTIN, 1968), ou tout simplement de ne pas envisager de variété (GUINOCHET et VILMORIN, 1975).

α) Variété *vulgare*

Elle correspond au "*Foeniculum (vulgare)*" de MILLER (1768), première désignation acceptable après 1753, date où commence la validité des noms scientifiques des Angiospermes. Mais ce fenouil était connu bien avant Linné: MILLER (1768) donne en synonyme un des fenouils de BAUHIN (1623), "*Foeniculum vulgare Germanicum*"; outre les termes "*vulgare*" et "*officinale*", on rencontre dans la synonymie "*silvestre*", "*sylvestre*" et "*sylvestris*" (voir HEGI et al, 1926; BRIQUET et LITARDIERE, 1938) qui font penser au "*F. sylvestre*" de BAUHIN (1623); cette variété correspond encore au "*Foeniculum Vulgare*" de MORISON (1672).

Une dénomination fréquemment retenue est due au botaniste suisse Albert Thellung, qui a collaboré à l'élaboration de la flore d'Europe Centrale d'HEGI et al.; ces derniers en 1925-1926 parlent de "*Foeniculum vulgare* subsp. II. *capillaceum* (Gilib.) Holmboe var. *α. vulgare* (Miller) Thellung". Mais l'article 26 du C.I.N.B. (1983), suivi par GARCKE (1972), conduit à écrire "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* var. *vulgare*".

β) Variétés *dulce* et *azoricum*

Elles ont été souvent confondues. Le terme "*dulce*" peut faire référence au fenouil doux, comme par exemple dans "*Foeniculum dulce*" (MILLER, 1768) et "*F. Dulce*" (MORISON, 1672). Il peut se rapporter au fenouil bulbeux, comme dans les désignations suivantes:

"*Foeniculum officinale dulce*" Alef. (ALEFELD, 1966)

"*Foeniculum capillaceum* Gilib, ex auct. *γ. dulce* Bert." ex Arc. (ARCANGELI, 1894)

"*Foeniculum vulgare* Mill. & *capillaceum* (Gilib.)" Paol. "*γ. dulce* (Mill.)" Paol. (PAOLETTI, 1900)

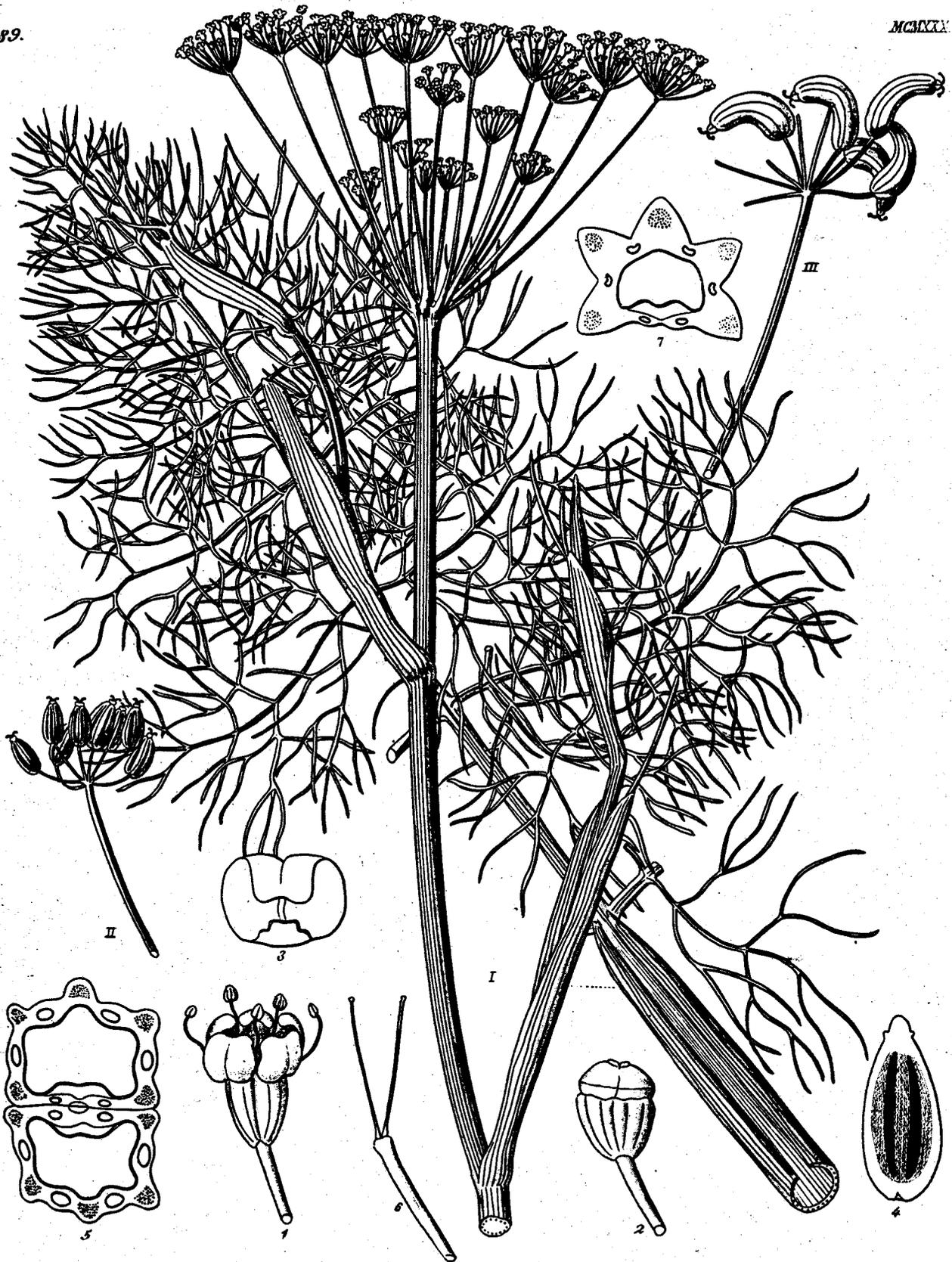
"*Dulce*" peut s'appliquer aux 2 variétés: la description donnée en 1813 par CANDOLLE pour "*Anethum dulce*" va dans ce sens. De même, ROUY et CAMUS (1901) décrivent sous le terme "*dulce*" non seulement le fenouil bulbeux, mais aussi un fenouil "*β. macrocarpum* Nob." aux fruits une fois plus grands, de 9-10 mm de longueur, et aux "turions souvent plus allongés", qui serait à notre avis un fenouil doux, en accord avec MARTÍNEZ-CROVETTO (1947). Nous pensons encore qu'"*Anethum Foeniculum* L. 2°. *A. dulce* G.B." (BONNIER, 1920) correspond, non seulement au fenouil bulbeux, mais aussi au fenouil doux, en raison de la taille des fruits, de 7-10 mm.

Après 1753, MILLER (1768) est le premier à avoir utilisé, dans un travail respectant la nomenclature spécifique binomiale, le terme "*Azoricum*", qui signifie [des Açores] et est, actuellement, généralement écrit avec une minuscule. Les dénominations habituellement retenues découlent de la flore d'Europe Centrale d'HEGI et al. (1926), qui proposent "var. *β dulce* (Miller) Thellung" et "var. *γ Azoricum* (Miller) Thellung". Ces auteurs suggèrent un retour à l'utilisation de "*sativum*" pour désigner le "fenouil doux" afin d'éviter le double sens suscité par "*dulce*". Nous ne sommes pas partisan d'un tel choix: "*dulce*" convient au fenouil "doux", cultivé pour ses fruits de saveur "douce" alors que "*sativum*" qui signifie [cultivé] n'évoque pas précisément la variété.

Il faut écrire "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare*" suivi de "var. *dulce* (Mill.) Thell." ou "var. *azoricum* (Mill.) Thell.".

γ) Variété *panmorium*

Les désignations latines du fenouil d'Inde sont tardives. La première semble être due à Fleming en 1810 (*INDEX KEWENSIS*, 1895, I): "*Anethum Panmorium* Roxb." ex Flem. . Dans sa flore d'Inde, ROXBURGH parle vers 1820 d'"*Anethum Panmori*. R.". CANDOLLE (1830) considère qu'il s'agit de "*Foeniculum Panmorium*", dénomination retenue par WIGHT (1843). HEGI et al. (1926) incluent ce fenouil dans la variété *dulce*. La variété "*panmorium*" n'en est pas pour autant abandonnée par d'autres auteurs allemands, tels BAUER (1942), ou HEBGER qui trouve (1956, page 396) que la position systématique de la variété "*panmorium* DC." n'est pas encore claire.

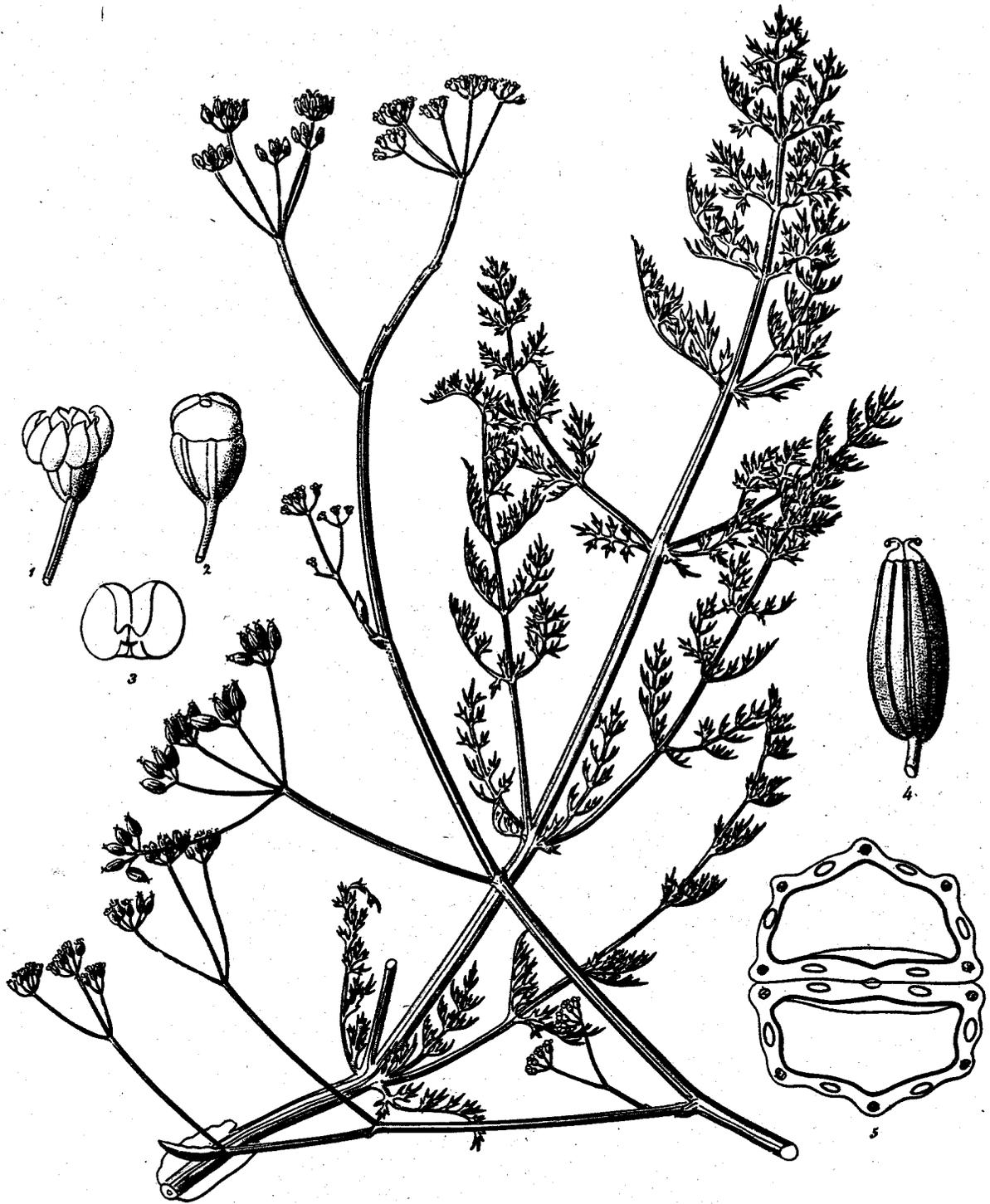


Reich. Bot. Anz.

I, II, 1-6. *Foeniculum officinale* All. III, 7. *F. dulce* DC.

Barthold. sc.

Figure 1. Iconographie de la sous-espèce vulgare d'après REICHENBACH (1864). I; sommet de la tige et feuille inférieure; II; ombellule fructifiée; 1; fleur; 2; jeune ovaire; 3; pétale vu de l'intérieur; 4; méricarpe vu par sa face commissurale; 5; coupe transversale d'un diakène; 6; pédicelle et carpophore bipartite; III; ombellule fructifiée de fenouil bulbeux; 7; coupe transversale d'un akène de fenouil bulbeux.



Foeniculum piperitum Ten.

Reich. Bot. Zeit.

B. Schmid sc.

Figure 2. Iconographie de la sous-espèce *piperitum* d'après REICHENBACH (1864), 1; sommet de la tige et feuille inférieure; 1; fleur; 2; jeune ovaire; 3; pétale vu de l'intérieur; 4; fruit; 5; fruit en coupe transversale.

<i>F. vulgare</i> Mill.	subsp. <i>piperitum</i> (Ucria) Cout.		subsp. <i>vulgare</i>			
			var. <i>vulgare</i>	var. <i>dulce</i> (Mill.) Thell.	var. <i>azoricum</i> (Mill.) Thell.	var. <i>panmoricum</i> DC.
caractères						
germination (j)	-	6-45	-	20-30	7-12	
nombre d'années	plusieurs	plusieurs	1, 2, (plusieurs)	1, (2)	1, (2)	
hauteur (cm)	(30)45-105-165(200)	(80)115-155-190(250)	(30)40-105-175(250)	(30)35-60-85(160)	(40)45-100-155(210)	
tige	pleine, grêle	pleine, moelleuse	creuse	creuse	creuse	
feuille stérile			petite	grande		
gaine (cm)	1-10	3-5, non charnue	charnue	longue, renflée	7-15, longue	
pennatiséquée	2-5 fois	-	-	2-4 fois	3-4 fois	
segments	raides	mous, filiformes	mous	mous	-	
(mm)	courts, 2-6(20)	20-50	-	allongés	-	
durée végétation						
année 1 ^{re} /2 ^e (j)	-	160-190 / 200	150-160	-	120-190	
ombelle	petite			grande		
pédoncule	court	long	long	-	-	
diamètre (cm)	-	20	15	+ 21	-	
nombre de rayons	(3)4-8-12(20)	5-20-30(50)	5-10-18	5-7-10(50)	10-19-30(40)	
fleurs	8-20/ombellule	13-21/ombellule	9-16/ombellule	-	10-20/ombellule	
fruit mûr	-	brun, foncé, ± séparé	pâle, non séparé	séparé	± séparé	
goût	poivré, âcre, amer	camphré, peu sucré	doux	doux ou non	sucré, très doux	
odeur		de fenouille				
courbure	-	possible	légère parfois	fréquente	légère parfois	
longueur (mm)	3-6	3-7-12(16)	(3)5-8-14	5-8	3,5-6-8	
largeur (mm)	1,5-2	1-2,5-4	1,5-2,9-4	2-3	1,6-2,5	
poids (g) de						
500 diakènes	-	2,35-4,95-8,35	3,4-4,6-7,65	-	5,95	
1000 akènes	3	3-5,9-8,25	4,45-4,95-6,25	3,85-4,55-5	-	

Tableau 1. Valeurs extrêmes rencontrées dans la littérature de quelques caractères botaniques des principales subdivisions de *Foeniculum vulgare* Mill. Pour des données nombreuses, une moyenne a été calculée, -; donnée manquante

Plusieurs travaux allemands (BERGER, 1952, page 271; TóTH, 1967b, page 387; HOPPE, 1975) parlent de fenouil ou de variété "*panmoricum* (Roxb.) DC.", mais il s'agit vraisemblablement d'une erreur: le terme "*panmoricum*" doit être retenu.

3) Description botanique du fenouil

Nous nous proposons maintenant d'énumérer les caractères botaniques communs aux subdivisions précédentes, ainsi que ceux susceptibles de les différencier. Certains ont été reportés dans le tableau 1. Les figures 1 et 2 représentent respectivement les sous-espèces *vulgare* et *piperitum*.

a) Germination

Dans les climats froids et tempérés, le semis a lieu au printemps pour une production de fruits dans l'année et d'autant plus tôt que les gelées d'automne sont précoces (EMBONG et al., 1977). Il peut être aussi effectué en automne pour une production de semences l'année suivante (MILLER, 1768; GUENTHER, 1950; MERKES, 1980; etc...). Si l'hiver est très rude, on peut déraciner les souches et les replanter au printemps (ALBERT, 1920; SCHMIDT, 1926; WESSELY, 1929-1930; STYK, 1969a).

Dans les climats plus chauds, les semis ont lieu à la fin de l'année, par exemple en septembre-octobre en Egypte (EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978). Dans le sous-continent indien, le fenouil est cultivé pendant la saison froide: les semis ont lieu dès le mois d'octobre, après la mousson (ROXBURGH, 1832; JOSHI, 1961; etc...).

Le pourcentage de germination est extrêmement variable (GRAAFF, 1931). Il dépend de l'âge des semences, de leur état sanitaire (GUPTA, 1962; SHARMA et SHARMA, 1984; etc...), d'un éventuel prétrempage (PATEL et JAISANI, 1964), du degré hygrométrique et de la température (SHARMA et SHARMA, 1984), de la préparation du sol (KAZAKOWA, 1971), etc...

Des temps de germination divers (tableau 1) ont été rapportés pour la variété *vulgare* (WESSELY, 1929-1930; MOREAU et al., 1966; TRENKLE, 1970), le fenouil bulbeux (MILLER, 1768; PERON, 1981) et le fenouil d'Inde (SUNDARARAJ et al., 1963; PATEL et JAISANI, 1964). Mais les conditions liées à l'environnement jouent un grand rôle (SHARMA et SHARMA, 1984).

Le pouvoir germinatif varie généralement de 2 à 6 ans dans la littérature (VILMORIN-ANDRIEUX et C¹, 1891; POTRAT, 1896; DYBOWSKI, 1902; ROLET, 1918; BECKER, 1938; FOURNIER, 1947; TSVETKOV et al., 1975; etc...). STYK (1969b) observe cependant près de 50 % de germination après 8 ans de stockage de la sous-espèce *vulgare*. La germination est "épigée": les cotylédons se développent au dessus du sol.

b) Plantule

Avant les travaux de CERCEAU-LARRIVAL (1962), on accordait peu d'importance aux caractères des plantules d'Ombellifères. BONNIER (1920) parle pour le fenouil de 2 cotylédons étroits et allongés et d'une première feuille déjà divisée en lanières étroites. Cette première feuille et la suivante sont dites "primordiales". CERCEAU-LARRIVAL (1962) trouve les

mêmes caractéristiques pour les 2 sous-espèces: hypocotyle épais de 20-25 mm de long, cotylédon linéaire de 50 mm de long et 1.5-2 de large au stade 2 feuilles primordiales, légèrement pétiolé, au limbe et pétiole trinervés, première feuille primordiale pouvant être découpée 2 fois. Selon PERON (1981), le fenouil bulbeux aurait des cotylédons très allongés.

c) Racine

Le fenouil peut être annuel, bisannuel ou vivace.

- La sous-espèce *piperitum* est pérenne.
- Le fenouil amer vivrait de 2 à 4 ans, mais CHINGOVA (1967) parle de 6 à 7 ans. Il ne supporte pas les hivers rigoureux (MOREAU et al., 1966).
- Les variétés *dulce*, *azoricum* et *panmorium* auraient pour particularité génétique de mourir après 1 ou 2 années végétatives. Les semis tardifs avec récolte l'année suivante expliquent peut-être pourquoi ces plantes sont dites bisannuelles. Cependant, plusieurs auteurs prétendent qu'elles peuvent être vivaces (VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891; BOIS, 1927; GARNIER et al., 1961; etc...). Il pourrait s'agir d'erreurs de détermination, ou bien d'observations de pieds dont on a empêché la production de semences et dont les parties souterraines supporteraient alors peut-être mieux l'hiver. A moins qu'il ne faille tout simplement envisager une plus grande fragilité de ces variétés au froid (ALEFELD, 1966). CHINGOVA (1967) trouve le fenouil amer plus résistant au froid et aux maladies que le fenouil doux.

Pour le fenouil amer, BRUCH (1956) observe au stade 2-3 feuilles une contraction longitudinale de la racine à l'origine de rides transversales et d'un enfoncement de l'axe de la plante dans le sol. Les cotylédons fanés laissent une cicatrice en anneau fermé séparant la partie racinaire en hypo et épicotyle. A la fin de la première période de végétation, l'épicotyle du fenouil amer présente des entre-noeuds renflés avec des bourgeons de renouvellement situés à l'aisselle des feuilles basales desséchées, plus rarement à celle des cotylédons. CHINGOVA (1967) rapporte qu'en hiver seule la partie souterraine la plus haute est putréfiée.

Notons que la variété *azoricum* forme des bourgeons axillaires quand on coupe le "bulbe" en laissant une ou 2 feuilles, d'où la possibilité d'une deuxième récolte (ALBERT, 1920; MESSIAEN, 1975).

La racine du fenouil est blanchâtre, plus ou moins ramifiée, longue, renflée, fusiforme. Chez la variété *vulgare*, elle est parfois non ramifiée

la première année de végétation (WESSELY, 1929-1930), mais CHINGOVA (1967) la dit plus ramifiée que celle de la variété *dulce*. Celle de la variété *panmorium* serait "simple" (ROXBURGH, 1832). La racine du fenouil amer est profondément enfoncée dans le sol (CHINGOVA, 1967), parfois de plus de 50 cm (TRENKLE, 1970, page 4). LOVE (1864) parle de racines allant jusqu'à 60 cm. Chez les pieds âgés de fenouil amer, elle peut atteindre 6 cm d'épaisseur (BRUCH, 1956).

d) Tige

La tige du fenouil est érigée, cylindrique, lisse, plus ou moins glauque et striée. Elle est relativement grêle pour le fenouil d'âne (COSTE, 1902; BURNAT, 1906; BONNIER, 1920; BRIQUET et LITARDIERE, 1938; FOURNIER, 1961), et robuste pour la sous-espèce vulgare (COSTE, 1902; FIORI, 1925; BRIQUET et LITARDIERE, 1938; GARNIER et al., 1961). Pour le fenouil bulbeux, les premiers noeuds sont extrêmement rapprochés avant la montaison.

La taille du fenouil à maturité est généralement comprise entre 50 et 200 cm, mais peut n'être que de 30 cm ou, au contraire, atteindre 250 cm (HEGI et al., 1926; BRIQUET et LITARDIERE, 1938; GARCKE, 1972; DESMAREST, 1978), et même 300 cm (MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947). Le fenouil d'âne serait de taille inférieure au fenouil amer (COSTE, 1902; BRIQUET et LITARDIERE, 1938; PITARD et PROUST, 1973). Ce dernier serait également plus haut que le fenouil doux (MILLER, 1768; BOMARE, 1800). CHINGOVA (1967), après culture pendant 2-3 ans de 71 fenouils amers et 240 doux d'origine bulgare, constate une taille inférieure pour la variété *dulce*, qui est en moyenne de 69.6 cm et ne dépasse pas 100 cm alors que la variété *vulgare* a une hauteur de 199.4 cm et peut atteindre 200-230 cm. Les tailles données au fenouil bulbeux sont généralement inférieures à 80 cm; on peut penser que les faibles valeurs indiquées par GARCKE (1972), de 30-50 cm, ont été mesurées avant complète montaison.

Plusieurs facteurs influencent la hauteur de la plante: les journées longues favorisent la croissance et les basses températures la diminuent (HARDH et HARDH, 1972). MOREAU et al. (1966) et EL-GENGAIHI et ABDALLAH (1978) obtiennent des plantes plus hautes pour des semis précoces. Le fenouil amer est moins élevé la première année de croissance (DESMAREST, 1988, comm. pers.). Les avis sont partagés sur une éventuelle augmentation de taille suite aux nombreux essais d'amendements minéraux réalisés en

Egypte (EL-LABBAN et al., 1972; ABDALLAH et al., 1978; etc...). Un espacement de 20 à 90 cm entre les pieds ne semble pas avoir d'effet marqué sur leur taille (STYK, 1969a; EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978; RANDHAWA et GILL, 1985; etc...).

Les ramifications sont dispersées de la base au sommet de la tige, surtout vers le haut (HEGI et al., 1926; MEIKLE, 1977). La variété *dulce* est ramifiée 3 fois et la variété *vulgare* 6 à 8 fois (CHINGOVA, 1967). Ce dernier auteur trouve 6 - $\overline{7.1}$ - 8 tiges latérales pour le fenouil amer bulgare en deuxième année de croissance.

La tige serait pleine pour le fenouil d'âne et le fenouil amer et fistuleuse pour les variétés annuelles et bisannuelles. La moelle serait abondante pour la variété *vulgare* (BRIQUET et LITARDIERE, 1938), à tel point qu'on l'utilise, en Argentine, pour l'histologie, comme substitut de celle du sureau (MARTÍNEZ-CROVETTO, 1942, 1947). Cependant, la tige de cette variété serait seulement "presque complètement" remplie de moelle d'après HEGI et al. (1926) et, pour DES ABBAYES et al. (1971), la tige du fenouil, d'abord pleine, se creuserait en fin de croissance.

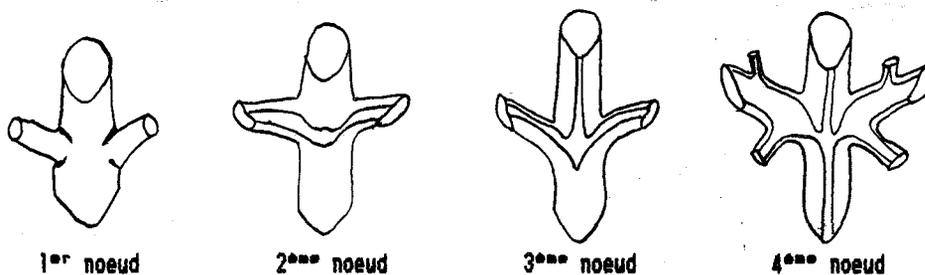
e) Feuilles

Après les cotylédons et les feuilles primordiales, on distingue chez les Umbellifères des feuilles "stériles" ou "radicales", puis des feuilles "fertiles" ou "caulinaires", suivies par les bractées de l'involucre et de l'involucelle (CERCEAU-LARRIVAL, 1962, 1965). Ces dernières sont généralement absentes chez le fenouil (CLAPHAM et al., 1962; TUTIN, 1968). La première feuille fertile est insérée sur le noeud d'où part la première ombelle dite "principale" ou "primordiale".

La feuille du fenouil présente un pétiole dilaté en gaine à sa base, et un limbe découpé une à plusieurs fois. Avant de poursuivre, précisons le sens que nous donnons à certains termes. L'axe prolongeant le pétiole s'appelle "rachis principal" et possède une "nervure principale". La feuille est pennée: des "rachis latéraux" portant des "nervures secondaires" sont disposés, en 2 rangées, de part et d'autre du rachis principal comme les barbes d'une plume. Ils sont opposés 2 à 2. Comme la découpe arrive tout près du rachis, la feuille est dite "pennatiséquée". La feuille peut être découpée plus d'une fois et être "bi-, tri-, quadripennatiséquée". Les découpages sont appelées selon les auteurs "divisions", "filaments",

"segments", "folioles", "lanières", "lobes", etc... Pour éviter toute ambiguïté, nous parlerons de divisions ou segments et nous préciserons s'ils sont ultimes (terminaux).

Chez le fenouil (GUEDES, 1984), le pétiole et les segments inférieurs du rachis principal ne présentent généralement pas de marge; leur structure est alors "unifaciale", contrairement aux segments suivants, aplatis dorsoventralement, de structure "bifaciale". Les marges sont reconnaissables par leur couleur blanchâtre. Leur orientation montre que l'insertion des rachis latéraux a lieu dans un plan presque perpendiculaire à celui de la marge du rachis principal. Le schéma ci-dessous de GUEDES (1984) permet de visualiser ces termes et représente 4 noeuds du rachis principal d'une feuille fertile de fenouil.



La feuille du fenouil est glabre, possède un contour ovale-triangulaire, une gaine "(sub)amplexicaule", c'est à dire embrassant (plus ou moins) la tige, avec une marge étroitement membraneuse et un limbe aux segments linéaires. Les divisions ultimes sont terminées par une pointe rigide (ARCANGELI, 1894; HEGI et al., 1926; CLAPHAM et al., 1962; BORG, 1976; MEIKLE, 1977), que nous appelons "mucron" (= courte pointe raide) et qui serait généralement papilleuse (MEYER, 1937). La première feuille primordiale atteint le stade bipennatiséqué (CERCEAU-LARRIVAL, 1962). Les feuilles stériles sont "distiques" ou "subdistiques", c'est-à-dire disposées sur 2 rangs ou presque (LOWE, 1864; HEGI et al., 1926; MERKES, 1980), caractère très net chez la variété *azoricum* (CANDOLLE, 1830; LAG, 1891; COSTE, 1902; BONNIER, 1920; BORG, 1976; PERON, 1981; etc...). Les dernières feuilles fertiles ont une gaine plus longue que le limbe et sont parfois réduites à celle-ci.

Le fenouil d'âne se distingue de la sous-espèce *vulgare* (fig. 1 et 2, tab. 1) par un contour plus étroit des feuilles (BURNAT, 1906; BRIQUET et LITARDIERE, 1938) et des segments plus glauques, plutôt charnus (raides,

rigides, épais) et plus courts, dépassant rarement 20 mm. Les segments des feuilles stériles de la sous-espèce *piperitum* seraient "divariqués", c'est-à-dire s'écartant les uns des autres presque à angle droit (ROUY et CAMUS, 1901; COSTE, 1902; BONNIER, 1920). La large gaine des feuilles fertiles serait plus courte (BURNAT, 1906).

Au sein de la sous-espèce *vulgare*, on mentionne plusieurs différences.

La gaine des feuilles stériles peut être renflée. Les gaines emboîtées les unes dans les autres forment alors un "bulbe", encore appelé "pomme" (MEUNIER, 1913; GAGNEBIN, 1965) ou "turion". On pense immédiatement au légume commercialisé, qui correspond à la variété *azoricum*, dont il existe de nombreux cultivars: le bulbe blanchâtre ou verdâtre mesure 4 à 15 cm de largeur. Il est allongé et aplati si les gaines sont longues et étroites, et plus globuleux si les gaines sont courtes et larges (PERON, 1981). Sa croissance est favorisée par de fréquents arrosages (LAG, 1891; CHARMEUX, 1906). Le fenouil doux posséderait aussi des bulbes comestibles, plus petits (VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891; BONNIER, 1920; FIORI, 1925; MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947).

La gaine de la variété *vulgare* serait plus courte que celle du fenouil doux (MILLER, 1768). Celle du fenouil d'Inde serait longue (SUNDARARAJ et al., 1963).

Cultivés à Calcutta, les fenouils issus de semences européennes ont des feuilles plus grandes, plus divisées, moins espacées que celles du fenouil d'Inde (ROXBURGH, 1832). La feuille du fenouil amer serait plus courte et divisée que celle de la variété *dulce* (MILLER, 1768); elle serait plus finement découpée que celle du fenouil bulbeux (BOIS, 1927).

Les feuilles sont mates ou luisantes, foncées ou claires selon les descriptions. Elles peuvent être rouge-noirâtre (BAUHIN, 1623). MILLER (1768) a observé des feuilles vert foncé et vert clair à partir d'un même lot de semences de fenouil amer ("*Foeniculum (vulgare)*"). De même, celles du fenouil bulbeux sont vert clair pour ALBERT (1920) et vert foncé pour SAUVAIGO (1929). Les feuilles de la variété *dulce* seraient vert bleuâtre glaucescent (VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891; BONNIER, 1920; BERNARD, 1987). Celles du fenouil d'Inde seraient vert mat (SUNDARARAJ et al., 1963).

La végétation serait plus abondante pour la variété *vulgare* que pour la variété *dulce* (DESMAREST, 1978).

f) Mise à fleur

La durée de végétation diffère selon les variétés (tab. 1). Ainsi CHINGOVA (1967) observe une période de 160-190 jours la première année et 200 la deuxième pour la variété *vulgare*, et de 150-160 jours seulement pour la variété *dulce*. De même, le fenouil amer fleurirait 6 semaines plus tard (TóTH, 1967a). Selon DESMAREST (1978), la culture de cette variété nécessite 30-35 semaines la première année de croissance et 20-25 la deuxième; le fenouil doux avec 20-22 semaines conviendrait mieux aux latitudes plus élevées. La floraison du fenouil bulbeux paraît plus précoce que celle de la variété *vulgare* (CANDOLLE, 1830). ROXBURGH (1832) au Jardin Botanique de Calcutta n'obtient pas de floraison dans l'année de fenouils européens, contrairement au fenouil d'Inde.

Ces différences s'expliquent en partie par une sensibilité variable à la durée journalière d'éclairement. Le fenouil est généralement considéré comme une plante de jours longs (HARDER et BÜNSOW, 1958; SHIMADA, 1959; etc...). La floraison ne serait possible qu'à partir d'un éclairement journalier critique de 11 à 14 heures (HELLER, 1982, page 185). PERON (1981) distingue 2 groupes de fenouil bulbeux selon l'importance de cette photophase critique. Quand elle est élevée, les cultivars sont semés au printemps et permettent l'obtention de bulbes en été. Lorsqu'elle est plus faible, les cultivars conviennent à un semis tardif et à une production de bulbes pour l'automne et l'hiver.

D'autres facteurs doivent cependant être pris en compte, comme le suggèrent les curieux résultats obtenus au Nébraska par MOREAU et al. (1966) sur le fenouil amer en première année de croissance: pour un semis du 20/4, 10/5 et 23/5, la floraison a lieu au bout de 98, 101 et 122 jours.

Ainsi, le fenouil amer fructifie 40 jours après le fenouil doux au lieu de 12-13 si l'été est froid et l'air très humide (CHINGOVA, 1967). La montaison du fenouil bulbeux est probablement favorisée par des températures élevées (PERON, 1981), et ralentie par l'arrosage. Par contre, les basses températures ne sont pas inductrices de la floraison chez le fenouil: les diverses variétés peuvent fructifier dès la première année de culture si les conditions climatiques sont favorables. La date de floraison ne dépendrait pas de l'espacement (MOREAU et al., 1966).

g) Inflorescence

α) Ombelle

L'inflorescence du fenouil est une ombelle composée d'ordre 2: un pédoncule porte des rayons d'où partent des pédicelles floraux. De nombreuses ombelles occupent le sommet de la plante et c'est peut-être pour cette raison que certains auteurs les disent "terminales", contrairement aux "latérales" ou "axillaires".

Les rayons sont glauques, ascendants, inégaux, de 1-8 cm de long. Ils sont plus courts au centre de l'ombelle, qui apparaît plate ou légèrement concave. Les pédicelles, de 10 à 25 (ROXBURGH, 1832; GLEISBERG et HARTROTT, 1960; HEDGE et LAMOND, 1972; MEIKLE, 1977), sont inégaux, de 1-10 mm de long.

Selon TUTIN (1968), l'ombelle formée la première, que nous appellerons "primordiale", ne serait pas dépassée en hauteur par les autres ombelles chez la sous-espèce *vulgare* contrairement à ce qui se passe chez la sous-espèce *piperitum*. Cette dernière se distinguerait par des ombelles surtout "latérales" (FOURNIER, 1961; MOUTERDE, 1970; etc...) et généralement plus petites (BURNAT, 1906; COUTINHO, 1974). Elles possèdent un pédoncule court, égalant au plus le double de la longueur des rayons les plus développés (COSTE, 1902; HEGI et al., 1926; BRIQUET et LITARDIERE, 1938) et des rayons également courts et peu nombreux (BATTANDIER et TRABUT, 1902; COSTE, 1902; BRIQUET et LITARDIERE, 1938; COUTINHO, 1974). Selon FIORI et PAOLETTI (1900, 1925), toutes les ombelles du fenouil d'âne présenteraient 6-12 rayons; par contre, pour la sous-espèce *vulgare*, on en aurait 15-70 chez les ombelles terminales et 8-10 chez les latérales. De même, CHINGOVA (1967) observe un nombre maximal de rayons pour les ombelles "centrales", suivies des "périphériques" et des "intermédiaires" chez les variétés *vulgare* et *dulce*.

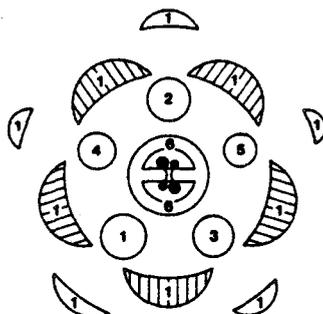
Le fenouil doux se différencie du fenouil amer par des ombelles moins nombreuses, présentant moins de rayons et formant moins de fruits par ombellule (CHINGOVA, 1967). Le fenouil bulbeux posséderait des ombelles de grande taille (BOIS, 1927).

Les caractères des ombelles dépendent de nombreux facteurs. Les fenouils semés le 20/9 donnent plus d'ombelles que ceux semés 15 et 30 jours plus tard (EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978). Un apport non excessif d'azote

augmente le nombre d'ombelles et leur diamètre; le phosphore favoriserait aussi le nombre d'ombelles alors que le potassium n'aurait aucun effet (EL-LABBAN et al., 1972; ABDEL-AL et al., 1973; ABDALLAH et al., 1978; etc...). La taille et le nombre de celles-ci augmenterait avec l'espacement (ABDEL-AL et al., 1973; EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978).

β) Fleur

Elle est régulière et hermaphrodite, mais parfois unisexuée par suppression occasionnelle de l'androcée ou du gynécée (GUPTA, 1964). Les fleurs du fenouil amer seraient plus petites que celles de la variété *dulce* (BETTS, 1968a). Le diagramme ci-dessous, dû à ERBAR et LEINS (1985), indique l'ordre d'apparition des différents organes floraux du fenouil.



Les primordia du calice arrêtent rapidement leur croissance, si bien que les 5 sépales sont presque nuls et se limitent à une "bordure peu épaisse", un "bourrelet" (BATTANDIER, 1889-1890; GARNIER et al., 1961).

Chacun des 5 pétales mesure 0.4-2 mm de long sur 0.5-1.25 de large; il est ovale oblong, involuté, incurvé au sommet en un apex court, lobulé ou (à peine) émarginé, (presque) quadrangulaire, d'environ 0.3 mm, atteignant la moitié du pétale (HEGI et al., 1926; CLAPHAM et al., 1962; NEGRE, 1962; Flora of the U.S.S.R., 1973; MEIKLE, 1977; MERKES, 1980; HOSNI, 1984). Les pétales sont plus ou moins intensément teintés de jaune; ceux de la sous-espèce *piperitum* pourraient être presque orange (BORG, 1976) ou tachés de rouge (REICHENBACH, 1867).

Les 5 étamines sont en alternance avec les pétales. MEIKLE (1977) observe un filet de 1.5 mm de long et des anthères suborbiculaires de 0.6 mm de diamètre.

L'ovaire infère présente 2 loges à 2 ovules anatropes, pendants, dont le supérieur avorte généralement (GUPTA et KUMARI, 1959; CARTIER, 1960; GUPTA,

1964). Il est surmonté à la base des styles d'un disque renflé responsable de la sécrétion du nectar, le "stylopede". Ce dernier, d'abord convexe, devient courtement conique (MEIKLE, 1977). Chez le fenouil bulbeux, il fait 0.6-0.7 mm de haut et 0.4-0.5 de diamètre (MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947). Les styles sont très courts et peu visibles à l'anthèse; ils se développent ensuite et sont érigés ou subdivergents avec des stigmates sessiles largement globuleux (LOWE, 1864).

h) Fruit

a) Morphologie et caractères organoleptiques

Le fruit est un diakène (=diachaine) présentant des côtes "suturales" et "carinales" en alternance. On a 5 côtes "suturales", correspondant aux 5 pétales, et 5 "carinales", correspondant aux 5 sépales et aux prolongements des 5 faisceaux libéro-ligneux du pédicelle; l'akène situé vers l'intérieur de l'ombelle posséderait 3 côtes carinales et 2 suturales (DRUDE, 1898; TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; HARTWICH et JAMA, 1909). Suite à une différence de croissance des 2 akènes, le fruit peut être courbé. Sa face convexe serait généralement dirigée vers l'extérieur de l'ombelle (HARTWICH et JAMA, 1909).

Le diakène du fenouil est glabre, ovale allongé, légèrement comprimé latéralement (COUTINHO, 1974; MEIKLE, 1977) ou dorsalement (STYGER et ZÖRNIG, 1919; etc...), parfois épaissi vers le pédicelle (STYGER et ZÖRNIG, 1919), ou un peu creusé dans le milieu de sa longueur comme pour le fenouil cultivé au nord de la Grèce (LINDEMANN, 1967). Le fruit est habituellement surmonté par le stylopede et les restes des 2 styles. A maturité, il se scinde éventuellement en 2 akènes ou méricarpes restant reliés par un "carpophore" divisé en 2 jusqu'à la base (fig. 1). Les 2 méricarpes sont opposés par la face "commissurale", plane ou faiblement creusée (DRUDE, 1898; MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947).

Chaque akène présente 5 côtes primaires équidistantes, proéminentes, saillantes, dont 2 "commissurales" (= "marginales"), 2 "latérales" et 1 "dorsale". Les 2 côtes "latérales" sont souvent considérées comme dorsales chez le fenouil. Les 4 côtes commissurales du fruit sont légèrement plus grandes (DRUDE, 1898; BONNIER, 1920; PHARMACOPOEA HELVETICA, 1949; etc...) et accolées étroitement avant la division (DRUDE, 1898; WITTMACK, 1922; HEGI et al., 1926); les 10 côtes délimitent 8 vallécules ne présentant pas

de côte secondaire et parcourues généralement par 1 poche sécrétrice allongée appelée "bandelette" ou "vitta". Les vallécules apparaissent plus foncées que les côtes, car, selon HEGI et al. (1926), les vittae "transparaissent". De même, la frange longitudinale obscure observée sur la face commissurale (MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947) correspondrait aux habituelles 2 bandelettes.

Mis à part les caractères organoleptiques, on dispose de peu de données sur les fruits de la sous-espèce *piperitum*. Leur saveur serait plutôt désagréable, non sucrée. Pour certains auteurs (COSTE, 1902; BONNIER, 1920; NEGRE, 1962), elle serait douce dans un premier temps puis ensuite âcre et piquante. KLEIMAN et SPENCER (1982) trouvent pour un échantillon d'Espagne un poids de 3.0 g / 1000 akènes.

Les comparaisons entre les variétés *vulgare* et *dulce* sont, par contre, abondantes. Les fruits de la variété *dulce* seraient plus clairs que ceux du fenouil amer (MILLER, 1768; HEGI et al., 1926; GRAAFF, 1929-1930; BERGER, 1952; GARNIER et al., 1961; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; LINDEMANN, 1967; MERKES, 1980; etc...). Leur saveur serait plus douce, sucrée, moins âcre (MORISON, 1672; MILLER, 1768; etc...). Ils auraient la particularité d'être peu dissociés à maturité complète (EMBONG et al., 1977; BETTS, 1968b).

Les fruits de la variété *dulce* seraient encore, selon les auteurs, plus longs (MILLER, 1768; PLANCHON, 1875; VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891; KÖNIG, 1893; HEGI et al., 1926; PERROT, 1947; GARNIER et al., 1961; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; KARLSEN et al., 1969; GARCKE, 1972; MERKES, 1980), un peu plus grands (COUTINHO, 1974), souvent moins gros (GRAAFF, 1929-1930) ou moins longs (MENORET, 1985) que ceux du fenouil amer. Ils seraient plus étroits (MILLER, 1768; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; GARCKE, 1972) ou aussi larges (MERKES, 1980). Ils seraient souvent plus lourds (BETTS, 1968a; KARLSEN et al., 1969) mais peuvent aussi être plus légers (CHINGOVA, 1967). En fait, il faut faire intervenir l'effet de la sélection. Les observations de KARLSEN et al. (1969) permettent de penser que les fruits du fenouil doux amélioré tendraient à diminuer de poids et que ceux du fenouil amer deviendraient plus longs, plus larges, plus épais et donc plus lourds. D'après les données de UMNEY (1897) et HARTWICH et JAMA (1909), les

fruits du fenouil doux en France et du fenouil amer en Saxe (Allemagne) étaient longs et larges au début du siècle.

Les avis sont partagés sur la saveur du fruit du fenouil bulbeux (HEGI et al., 1926). Elle serait anisée, sucrée (MILLER, 1768; ALEFELD, 1966) ou plus ou moins ingrate (PAOLETTI, 1900). Les semences de la variété *azoricum* seraient courbées (MILLER, 1768; REICHENBACH, 1867), plus que celles de la variété *dulce* (MERKES, 1980). Le fruit serait large par rapport à sa longueur (VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891), gros et léger (ROLET, 1918; BOIS, 1927). Il possède (fig. 1) des côtes très saillantes, fort anguleuses, séparées par des vallécules profondes (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947).

Le fruit du fenouil d'Inde serait peu courbé (UMNEY, 1896, 1897) et plus court que celui du fenouil amer (MERKES, 1980).

La taille et le poids dépendent de nombreux facteurs, en particulier du degré de maturité, directement relié à la date et au mode de récolte. Ainsi, GLEISBERG et HARTROTT (1960) constatent que plus la récolte est tardive, plus la longueur augmente. Comme on a plusieurs générations d'ombelles, la maturité est échelonnée. On parle (S.N.P.P.M., 1975) de "nouaison" quand 50 % des fruits sont formés, puis du "jaunissement de l'ombelle", et des stades "laiteux" (albumen laiteux), "cireux laiteux" (fruit vert plus gros, albumen se durcissant), "cireux I" (durcissement et lignification) et "cireux II" (brunissement). On peut aller régulièrement dans les champs de fenouil pour ne couper que les ombelles dont les fruits passent du vert au gris (BERGER, 1952; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961) et ne sont donc pas totalement mûrs et dissociés (TÓTH, 1967a). Les semences sont séparées ensuite par cardage, d'où le "Kammfenchel" ou "Traumelfenchel" des allemands; mais cette méthode est longue, coûteuse et les pieds sont abîmés par les allées et venues (BAUER, 1942; MERKES, 1980); c'est pourquoi on ne l'applique qu'aux premières ombelles (HEEGER et ROSENTHAL, 1949; KAROW, 1968), qui donnent des semences lourdes (BAUER, 1942). On préfère le fauchage de la totalité des ombelles des pieds mûrs (ROLET, 1918; GARNIER et al., 1961) ou plus fréquemment du champ entier, dès que les fruits des ombelles primordiales sont mûrs à 95%, d'où l'obtention, après fanage, battage et séchage du "Strohfenchel" des allemands (KÖNIG, 1893; SCHMIDT, 1926; BAUER, 1942; GUENTHER, 1950;

etc...), encore appelé "Gedroschener Fenchel" et dont les fruits verdâtre à brun sont plus dissociés (TÓTH, 1967a).

La taille des graines régresserait d'une année à l'autre dans les cultures pluriannuelles (DUQUENOIS et al., 1977). ABDALLAH et al. (1978) rapportent que l'azote augmente la taille des semences. Un écartement de 20 à 90 cm entre les pieds ne semble pas affecter de manière marquée le poids des fruits (STYK, 1969a; ABDEL-AL et al., 1973).

β) Rendement en fruits

CHINGOVA (1967) obtient une moyenne de 89.3 g de semences par pied pour la variété *vulgare* et de seulement 27.5 pour la variété *dulce*.

Le rendement est lié à de nombreux facteurs, comme les conditions climatiques et les maladies. Le sol doit ainsi être suffisamment humide pour permettre une bonne germination; les pluies violentes, la grêle gênent la croissance; les précipitations au moment de la floraison favorisent l'apparition de la cercosporidiose; un été court et peu ensoleillé, des basses températures, un sol engorgé d'eau nuisent au développement des fruits (STENZEL, 1958; STYK, 1969a; KAZAKOWA, 1971; etc...).

Des fenouils semés le 20/9 et non 15-30 jours plus tard ont eu une meilleure croissance végétative et ont donné plus de fruits (EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978). CHAUDHRY (1959) rapporte qu'au Punjab, en Inde, un semis précoce (mi-octobre à début novembre) entraîne une augmentation du rendement en semences. Le rendement en fruits du fenouil amer est faible la première année (GUENTHER, 1950; voir MOREAU et al., 1966; etc...), important la deuxième, puis diminue la troisième (BECKER, 1938). Il serait intermédiaire entre ceux de première et deuxième année pour un semis d'été tardif avec récolte l'année suivante (DANES, 1984).

L'apport de phosphore favorise la récolte en fruits (ROLET, 1918; MAGHAMI, 1979). Il en est de même de l'azote, qui entraîne un plus grand nombre de fruits, plus légers, par plante (ABDEL-AL et al., 1973). Mais, à forte dose, cet élément favoriserait le feuillage au détriment des semences (WEICHAN, 1948; MAGHAMI, 1979).

D'après plusieurs auteurs (MOREAU et al., 1966; ABDEL-AL et al., 1973; etc...), un écartement de 20 à 90 cm entre les pieds n'affecte pas significativement le rendement en fruits: la faible densité est compensée par un plus grand nombre d'ombelles de large diamètre (ABDEL-AL et al.,

1973) et une plus grande quantité de semences par plante (EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978). Mais, selon STYK (1969a), la récolte de fruits s'accroît quand on passe d'un écartement entre les pieds de 80 cm à 60 et 40 cm. C'est sans-doute suite à un effet de bord que BECKER et al. (1940) trouvent 4082 kg/hectare, alors que la littérature cite des valeurs habituellement inférieures à 2 tonnes (SCHIMMEL et C^{ie}, 1907; GUENTHER, 1950; GARNIER et al., 1961; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; etc...).

4) Données histologiques

a) Introduction

Des centaines de coupes histologiques sur les variétés *vulgare* et *dulce* ont été réalisées à l'I.R.A.B., en particulier par C. PAUPARDIN, R. GAUTHERET et C. LEDDET. Ces chercheurs ont étudié le rapport entre la structure histologique et les caractères de l'essence pour différentes parties de la plante. Bien que les résultats ne soient pas encore publiés, nous en avons eu très tôt connaissance: ainsi, le fenouil amer aurait des canaux sécréteurs moins nombreux dans les racines, les tiges et les feuilles que le fenouil doux et les canaux sécréteurs des parties souterraines seraient plus gros pour le fenouil amer. L'éventuelle possibilité de distinguer les variétés par le nombre de canaux sécréteurs dans les segments foliaires nous a séduit et conduit à réaliser une étude histologique des feuilles de différents fenouils. Nous développerons spécialement les données histologiques se rapportant aux canaux sécréteurs des feuilles et des fruits, en raison de l'orientation de nos travaux expérimentaux. Bien que nous n'ayons analysé que l'essence des semences, il nous semble utile de préciser l'existence de plusieurs types de canaux sécréteurs chez le fenouil.

b) Canaux sécréteurs primaires

Dans la pointe racinaire, des canaux sécréteurs primaires sont formés à partir du péricycle: en face de chaque massif de protoxylème, on a un canal sécréteur médian de 4 cellules avec, de chaque côté, 3 à 4 canaux à 3 cellules de plus en plus petits (BRUCH, 1956; KADRY et al., 1978). Ces mêmes canaux sont observés par CERCEAU-LARRIVAL (1962) dans le tiers supérieur de l'hypocotyle de la plantule de divers échantillons de fenouil et présentent plutôt 4 cellules que 3. HACCIUS et REH (1956) ont montré par

une succession de coupes transversales sur la plantule de fenouil que ces canaux peuvent s'anastomoser et se prolongent dans la gaine cotylédonaire. L'étude du passage de la racine à la tige chez le fenouil est actuellement approfondie par GAUTHERET. Dans tige, feuille, pédoncule, rayon et pédicelle, le trajet des canaux sécréteurs primaires suit celui des vaisseaux, eux-mêmes généralement en rapport avec un faisceau de collenchyme. Les faisceaux libéro-ligneux de grande taille sont généralement accompagnés d'un gros canal sécréteur situé du côté du collenchyme et de 3 petits, 2 situés latéralement et le 3^{ème} dans le parenchyme médullaire. Les canaux sécréteurs accompagneraient la ramification des faisceaux vasculaires; cependant, KADRY et al. (1978) n'observent pas d'anastomose pour les canaux sécréteurs du pétiole. Les canaux sécréteurs primaires se terminent généralement brusquement au sommet du pédicelle (KADRY et al., 1978; HARTWICH et JAMA, 1909). Le long du faisceau libéro-ligneux du pétiole, KADRY et al. (1978) ont observé un canal sécréteur non ramifié parfois accompagné d'1 à 2 autres plus courts.

c) Canaux sécréteurs secondaires

Ils résultent du fonctionnement du cambium et se situent dans le phloème secondaire. Dans la racine, on les rencontre par 1-2 en cercles concentriques dans les bandes tangentiels de cellules parenchymateuses comprises entre 2 rayons médullaires. Ils sont petits, présentent 3-4-6 (COLIGNON, 1874; BRUCH, 1956; KADRY et al., 1978) voire 12 cellules (GAUTHERET, 1983, comm. pers.). Dans la tige, ils sont plus petits que les canaux sécréteurs primaires et groupés dans des cordons de cellules parenchymateuses ou éventuellement solitaires; dans le pétiole, ils sont peu nombreux (KADRY et al., 1978). Des canaux sécréteurs dits "secondaires" ont été observés dans les faisceaux libéro-ligneux de certains fruits, comme ceux du fenouil de Saxe (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; HARTWICH et JAMA, 1909; STYGER et ZÖRNIG, 1919; SHAH et al., 1970; etc...). On en aurait toujours moins de 2, courts, probablement isolés, dans le faisceau de fibres séparant en 2 le phloème ou dans ce dernier.

BRUCH n'a pas observé le fonctionnement d'une assise subéro-phellogénique dans la racine, contrairement à KADRY et al. (1978), qui parlent de canaux sécréteurs réticulés s'étendant sous le phellogène.

d) Bandelettes

Les bandelettes, ou *vittae*, présentent des cloisons transversales régulières qui seraient formées par du suc desséché (COLIGNON, 1874; MEYER, 1889).

En coupe transversale, elles sont circulaires ou plus ou moins ellipsoïdes (BECKER et al., 1940; MERKES, 1980; etc...). Elles mesurent de 100 à 240 × 30 à 105 μ de diamètre; celles du fenouil d'Inde paraissent particulièrement étroites; elles seraient moins larges chez le fenouil doux français que chez les fenouils de Galicie, de Saxe et que chez le fenouil amer de France (UMNEY, 1897; STYGER et ZÖRNIG, 1919; etc...).

La largeur et le nombre de cellules des *vittae* dépendent du niveau de la coupe transversale (UMNEY, 1897), qui est effectuée généralement au milieu d'un fruit mûr. Ils augmentent jusqu'à la portion moyenne du carpelle, puis diminuent graduellement; les bandelettes commissurales pourraient être moins larges et plus circulaires (KADRY et al., 1978).

Les bandelettes s'étendent d'une extrémité à l'autre du fruit. Les commissurales sont les plus courtes, suivies par les latérales. La dorsale arrive à la pointe du style (DRUDE, 1898, page 106; SHAH et al., 1970; KADRY et al., 1978).

Leur nombre est normalement de 1 entre les côtes et de 2 à la commissure. Les auteurs rapportent 1-3 *vittae* par vallécule (PAOLETTI, 1900; AKAČIĆ et ROGINA, 1953; BORG, 1976; etc...); certaines origines en posséderaient rarement plus de 2, d'autres 2-3 (STYGER et ZÖRNIG, 1919). Dans la commissure, on en aurait 2-4 (UMNEY, 1897; DRUDE, 1898; AKAČIĆ et ROGINA, 1953; ROSS-CRAIG, 1959; PARRY, 1969; Flora of the U.S.S.R., 1973; etc...), rarement 6 pour le fenouil de Galicie (STYGER et ZÖRNIG, 1919). En fait, le nombre de *vittae* dépend de la position du fruit dans la plante: les semences centrales des grandes ombelles présenteraient 4 bandelettes commissurales et les autres seulement 2-3 (LOWE, 1864). Les bandelettes surnuméraires, plus courtes, seraient fréquentes dans la moitié supérieure de l'ovaire (KADRY et al., 1978). Elles sont indépendantes ou proviennent d'une ramification de la bandelette voisine (HARTWICH et JAMA, 1909; STYGER et ZÖRNIG, 1919; PARRY, 1969; SHAH et al., 1970).

L'existence de bandelettes surnuméraires s'accompagne d'un nombre accru de faisceaux conducteurs (HARTWICH et JAMA, 1909; ROSENTHALER, 1913; STYGER et ZÖRNIG, 1919). Les faisceaux libéro-ligneux supplémentaires seraient

généralement isolés à la face commissurale et ramifiés pour les côtes dorsales et latérales (HARTWICH et JAMA, 1909).

e) Feuille

- Le pétiole présenterait 2 couches de parenchyme palissadique, interrompues par des massifs de collenchyme de 6-7 assises d'épaisseur faisant chacune face à un faisceau libéro-ligneux (KADRY et al., 1978). Dans la gaine, le parenchyme palissadique n'est présent que sur une face. Il devient circulaire dans le reste du pétiole, où les faisceaux libéro-ligneux finissent par former un cercle. Le fenouil doux pourrait se distinguer des variétés *vulgare* et *azoricum* par la présence d'une lacune centrale (BERNARD, 1987). CALESTANI (1905) trouve des différences pour le pétiole des feuilles inférieures entre les sous-espèces *vulgare* et *piperitum*. La première posséderait un parenchyme palissadique plat et des faisceaux collenchymateux et libéro-ligneux tous égaux. Pour la seconde, ces faisceaux seraient alternativement inégaux et le parenchyme palissadique ferait saillie vers l'intérieur.

- L'étude de l'épiderme du limbe de 4 lots de fenouils (BERNARD, 1987) montre que les densités cellulaires et stomatiques, ainsi que les contours et les types stomatiques permettent peu de distinctions. Les segments du limbe, en coupe transversale, possèdent sous l'épiderme un anneau de tissu palissadique interrompu par du collenchyme et, fréquemment, 3 faisceaux libéro-ligneux, le central étant plus important et accompagné d'un canal sécréteur (GENEAU DE LAMARLIERE, 1893, page 123; KADRY et al., 1978; BERNARD, 1987). MEYER (1937) a observé des coupes successives du limbe sur 4.5 cm de segments (fig. 3): le parenchyme palissadique passe de 2, voire 3 couches, à une seule continue; l'appareil conducteur se compose d'un gros faisceau libéro-ligneux, de 2 moyens et de 2 petits, puis se réduit à 3 qui se réunissent finalement en 1 seul à 1 mm de la pointe; l'appareil sécréteur est constitué de 3 canaux puis d'1 seul qui disparaît; à la face supérieure, on a une gouttière (correspondant probablement à la marge) de moins en moins saillante. Il a été observé à l'I.R.A.B. 1(4) canaux sécréteurs pour le fenouil amer et (1)3(4) pour le fenouil doux, mais il faut tenir compte de la position des feuilles sur l'axe caulinaire et de leur taille (GAUTHERET et PAUPARDIN, 1983-1984, comm. pers.).

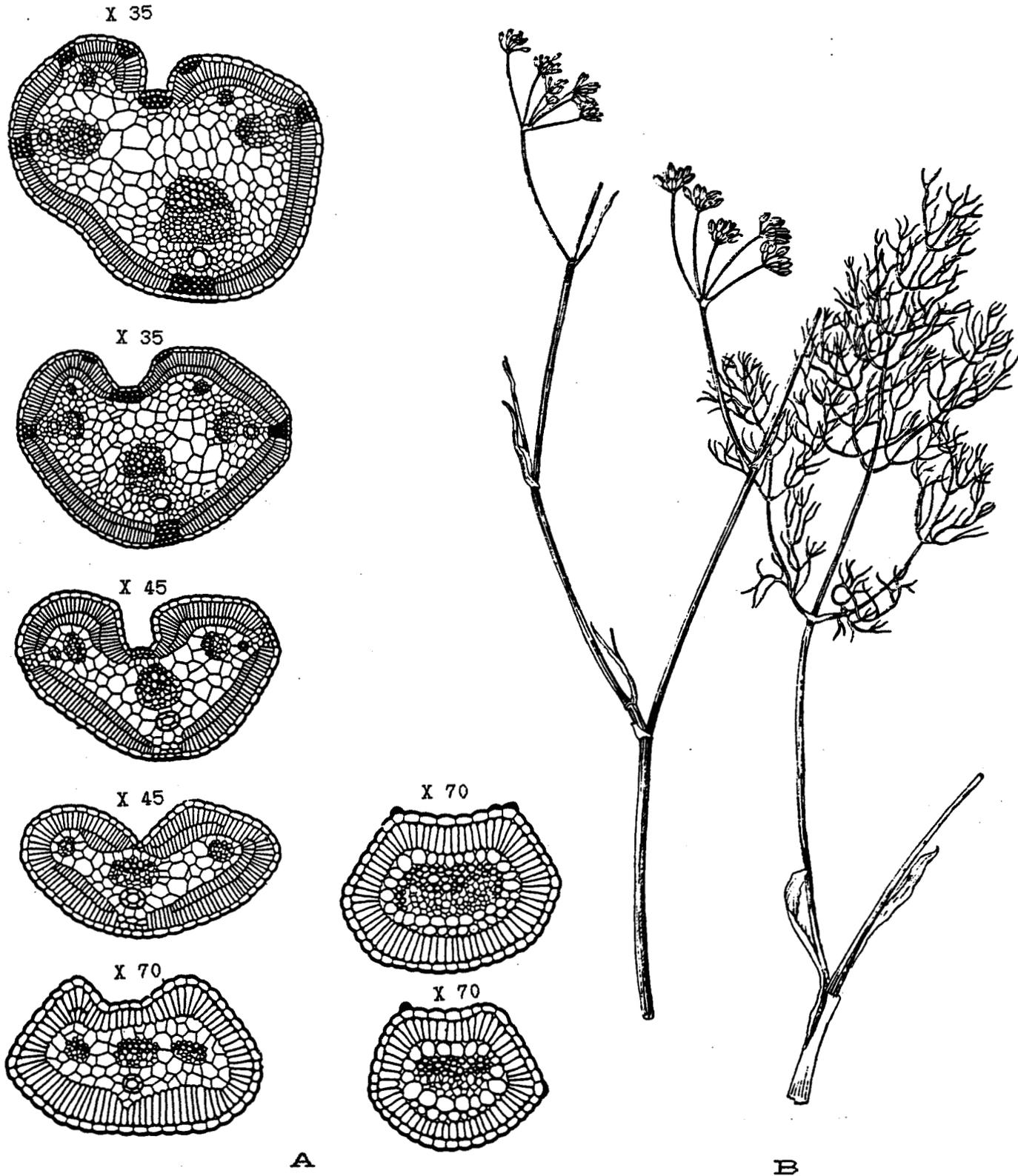


Figure 3. A: Coupes transversales successives d'un segment foliaire de 4,5 cm de long de fenouil d'après MEYER (1937),
B: Aspect général de *Foeniculum scoparium* Quézel, d'après QUEZEL (1958, planche VIII)

f) Fruit

Les fruits mûrs des sous-espèces *vulgare* et *piperitum* auraient une structure anatomique à peu près identique (GUITTER, 1928). Outre la forme des côtes et le nombre de *vittae* et de faisceaux libéro-ligneux, d'autres caractères, tel que l'arrangement des cellules lignifiées, permettraient de distinguer des fenouils de diverses origines (STYGER et ZÖRNIG, 1919).

- Le diakène est recouvert d'un épiderme (épicarpe) qui se fissure au niveau des côtes commissurales, lors de la séparation des 2 akènes, suite à l'oblitération d'une "couche moyenne" (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900). Cet épicarpe présente une cuticule et de rares stomates.

- Le mésocarpe est constitué de cellules parenchymateuses dont les plus externes sont chlorophylliennes dans le jeune fruit. Elles entourent les faisceaux libéro-ligneux, qui occupent les angles des côtes et les bandelettes présentes dans les vallécules (fig. 1 et 2). Au cours de la maturation, elles tendent à se lignifier au voisinage des bandelettes, dans les côtes autour des faisceaux libéro-ligneux et dans les couches les plus internes. On distingue, en particulier, des cellules "réticulées", dont les parois sont épaissies en réseau (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; PERROT, 1944; GUPTA, 1964; PARRY, 1969; MERKES, 1980; etc...). Ces cellules sont nombreuses près du stylopoide (FERNANDES COSTA et al., 1959) et peu fréquentes à la commissure. Elles peuvent former, en coupe transversale, des groupes isolés (fenouils romain, de Saxe, de Galicie, de Königsberg, de Chine) ou se rejoignant sous les *vittae* (fenouils de Grèce et de Crète) (HARTWICH et JAMA, 1909; ROSENTHALER, 1913). La paroi du fruit (péricarpe) peut varier en épaisseur, comme pour le fenouil doux de France, ou être régulière; elle serait très mince chez le fenouil de Russie et épaisse chez le fenouil d'Iran (UMNEY, 1897).

- L'endocarpe est constitué par une assise de cellules aux parois lignifiées (FERNANDES COSTA et al., 1959; PARRY, 1969).

Le tégument de l'ovule (testa) est plus large à la face commissurale; on peut parler à ce niveau de "raphé", car il renferme les vaisseaux nourriciers du sac embryonnaire (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; GUPTA, 1964; PARRY, 1969; MERKES, 1980; etc...).

En coupe transversale le contour de l'albumen rappelle celui de l'épicarpe; le raphé y forme une anfractuosité plus ou moins importante, particulièrement marquée pour le fenouil d'Iran (HARTWICH et JAMA, 1909).

L'albumen est sillonné de côte en côte entre les *vittae*. Il présente des cellules polygonales disposées radialement renfermant des gouttelettes huileuses et un des 2 types de grains d'aleurone (SPITZER et LOTT, 1982a,b). Ces derniers, de 1.5-10 μ , présentent une inclusion plus ou moins grande de 2-5 μ (STYGER et ZÖRNIG, 1919; FERNANDES COSTA et al., 1959; MERKES, 1980; etc...). L'embryon, de taille variable, est situé près du pôle supérieur, la radicule dirigée vers l'apex (TSCHIRCH et OESTERLE, 1900; FERNANDES COSTA et al., 1959; PARRY, 1969; BERNARD, 1987; LAMARTI, 1987).

5) Taxons pouvant être rattachés au fenouil

a) Cas particulier de *Foeniculum luteum* et *F. aromaticum*

Ajoutons tout de suite à la liste des synonymes de *Foeniculum vulgare* Mill., *Foeniculum luteum* Fisch. ex Sweet et *Foeniculum aromaticum* Kern. .

SWEET (1830) appelle "*Foeniculum luteum* F." un fenouil d'Iran aux fleurs jaunes introduit en Angleterre en 1829; cette espèce est citée par la suite par STEUDEL (1840), l'INDEX de KEW (1895) et DRUDE (1898).

"*Foeniculum aromaticum* Kern.", mentionné par L'INDEX de LONDRES (1930), date de 1891; KERNER VON MARILAUN (1898) l'appelle encore "*Foeniculum aromatiu*m".

b) Formes intermédiaires entre les 2 sous-espèces

De nombreux botanistes reconnaissent qu'il est extrêmement difficile, voire impossible, de distinguer sur le terrain les sous-espèces *piperitum* et *vulgare* (LOWE, 1864; LOJACONO-POJERO, 1891; HEDGE et LAMOND, 1972; PITARD et PROUST, 1973; etc...), sauf pour quelques spécimens bien typés (MEIKLE, 1977). Les caractères permettant une séparation s'avèrent souvent extrêmement variables (LOWE, 1864) et dépendent de nombreux facteurs. Ainsi Thellung a observé en Bretagne des plantes chétives présentant des lanières courtes et des rayons peu nombreux faisant penser à la sous-espèce *piperitum* (HEGI et al., 1926). Il ne semble pas exister de frontière nette entre les 2 sous-espèces (BAUER, 1942) et il existerait des spécimens intermédiaires (BERGER, 1952; MEIKLE, 1977).

Une nouvelle espèce non cultivée de Sicile, "*Foeniculum giganteum*" Lojac., a été décrite succinctement par LOJACONO-POJERO en 1908. Ses tiges dépasseraient 3 mètres, particularité ne devant pas, à notre avis, exclure

ce taxon du fenouil, qui peut atteindre 2.5-3 mètres. Les lanières seraient rigides et toutes divariquées, ce qui est en faveur d'une appartenance à la sous-espèce *piperitum*, mais, par ailleurs, les feuilles amples posséderaient des segments filiformes longs, et on pense alors à la sous-espèce *vulgare*.

c) Taxons pouvant être rattachés à la sous-espèce *piperitum*

- Le fenouil de Grèce, décrit en 1843 par GRISEBACH comme nouvelle espèce sous le nom de "*Foeniculum divaricatum*", est un bon exemple de forme intermédiaire. Plusieurs auteurs, tel NYMAN (1879), reprennent le terme "*divaricatum*", qui fait allusion aux découpures dichotomiques des segments du limbe. D'autres botanistes, tel BURNAT (1906), préfèrent le terme "*pluriradiatum*", en raison des 13-20 rayons de l'ombelle. Les synonymes cités sont en faveur d'une appartenance à la sous-espèce *piperitum* (BOISSIER, 1872; HEGI et al., 1926; HEEGER, 1956; MEIKLE, 1977; etc...). Les segments du limbe rigides, de seulement 7-9 mm de long, sauf erreur de traduction, et les ombelles plutôt petites de 8 cm de diamètre (GRISEBACH, 1843) font penser au fenouil d'âne, contrairement au nombre élevé de rayons. Mais ce dernier caractère, ne suffit pas, à notre avis, pour permettre d'envisager une variété au sein de la sous-espèce *piperitum*.

Ce fenouil peut être rapproché de la description donnée par LOJACONO-POJERO (1891), dans sa flore de Sicile, pour la sous-espèce *piperitum*, aux lanières rigides, mais aussi aux ombelles denses avec des rayons robustes.

- "*Foeniculum subinodorum* Maire, Weiller et Wilczek" a été trouvé dans l'Anti-Atlas au Maroc, mais ses fruits n'ont pas été décrits (MAIRE, 1935); ce fenouil est proche de la sous-espèce *piperitum* par sa pérennité et par ses segments, mous et courts, de 3-6 mm pour les feuilles inférieures et plus ou moins épais, divariqués, de 2-4 mm, pour les supérieures. Il en diffère par son ombelle primordiale multiradiée, possédant jusqu'à 30 rayons. Sa floraison en avril, pour une altitude de 600-700 mètres, nous paraît, en outre, précoce. Il mesure 1-2 mètres, possède une tige solide et glauque, des rayons épais et une odeur de fenouil très faible, presque nulle.

d) Taxons pouvant être rattachés à la sous-espèce *vulgare*

- KOCH (1847), repris par BOISSIER (1872), parle de "*Foeniculum multiradiatum*" pour une plante de Bithynie (Turquie), dont il n'a pu observer les fruits. Elle serait glabre, glaucescente, de 30-60 cm, à tige érigée, striée, peu rameuse supérieurement, sans involucre ni involucre, à feuilles bipennatiséquées pourvues de segments linéaires mucronés, les inférieures avec de longs pétioles, caractères qui peuvent correspondre à *Foeniculum vulgare* Mill., alors que les segments parfois 2-3 partites et les feuilles inférieures plus petites permettent d'en douter. Elle serait annuelle et les ombelles médianes posséderaient plus de rayons que les latérales, ce qui exclut d'envisager la sous-espèce *piperitum* et la variété *vulgare*. Il ne peut s'agir non plus de la variété *azoricum*, car le bulbe aurait dû apparaître nettement en absence de fructification. Il pourrait donc être question de la variété *dulce*, voire *panmorium*.

- BATTANDIER et TRABUT (1889-90) découvrent au Djébel Amour, en Algérie, une nouvelle forme et n'en donnent un nom qu'en 1902, "*Foeniculum vulgare* L. γ *Claryi*". HEGI et al. (1926), incluent cette forme "*Claryi* Battandier et Trabut" dans la variété *vulgare*. MAIRE (1935) n'a pas consulté la flore de 1902 de BATTANDIER et TRABUT et parle de "*Foeniculum vulgare* Mill. var *inodorum* Maire". Cette plante ne diffère pas morphologiquement du fenouil du Tell, région montagneuse d'Algérie bordant la côte méditerranéenne, et appartient à la sous-espèce *vulgare* en raison de ses segments foliaires allongés. Ses fruits ont cependant une saveur désagréable et leur odeur, ainsi que celle de la plante, est particulière, désagréable, extrêmement différente de celle du fenouil. BATTANDIER (1889-90) et MAIRE (1935) indiquent encore des rayons de l'ombelle primordiale grêles, de même qu'un port divariqué et des fruits à côtes épaisses, caractères qui ne suffisent pas à notre avis pour conclure à la variété *vulgare*.

- NABÉLEK (1923) a observé un fenouil poussant à Wâdi el-Hsâ en Arabie Pétrée (centre de l'Arabie Saoudite) et l'appelle "*Foeniculum officinale* All. f. *pauciradiata*". Sa description se limite à indiquer la présence de segments foliaires linéaires-capillacés, ce qui confirme l'appartenance à la sous-espèce *vulgare*, et d'ombelles ne présentant que 7-12 rayons, soit du même ordre que pour la variété *dulce*. Les données sont

néanmoins insuffisantes pour retenir cette désignation, ni celle plus correcte de forme "*pauciradiatum*" (HEGI et al., 1926; HEEGER, 1956).

- TÓTH (1967a) a aussi observé peu de rayons pour le fenouil d'Argentine. Celui-ci atteint 220 cm, a des ombelles petites, contrairement à la variété *dulce* et différerait de la variété *vulgare* par un moins grand nombre de feuilles, des petits fruits et l'absence de fructification en première année de culture.

- Le fenouil du Japon a été dénommé "*Foeniculum japonicum*" par HOPPE (1975). Celui de Chine n'a pas reçu de désignation latine spéciale. D'après HIROE (1958), la taille des segments pour le fenouil chinois et un fenouil japonais récolté dans un jardin botanique serait de 4-40 mm. D'autre part, le fenouil japonais serait bisannuel et celui de Chine annuel; leur aspect rappellerait les variétés *dulce* et le fenouil d'Inde (TÓTH, 1967a,b). On doit donc exclure leur appartenance à la sous-espèce *piperitum*, dont les segments atteignent rarement plus de 20 mm, et qui est pérenne, de même qu'à la variété *vulgare*, vivace. Les descriptions ne mentionnent pas l'existence du bulbe caractéristique de la variété *azoricum*, mais ne suffisent pas pour inclure ces fenouils dans les variétés *dulce* ou *panmorium*. TÓTH (1967) constate une hauteur de 0.4-0.6 m pour la variété *dulce* et pour des échantillons d'Inde et de 0.6-0.8 m pour des fenouils originaires de Chine et du Japon. Ces 2 derniers différeraient par leur hauteur et la longueur des pétioles (HIROE, 1958). Les fruits du Japon sont sucrés, camphrés (HOPPE, 1975), petits (3-4-5.3 mm), avec des côtes non proéminentes et un péricarpe régulier. Ceux de Chine sont plus longs, de 4.5-6-10 mm, ce qui correspond à la taille observée pour le fenouil d'Inde. Ils semblent avoir des côtes plus proéminentes, être plus courbés et ont des *vittae* supplémentaires fréquentes à la face commissurale (UMNEY, 1897; ROSENTHALER, 1913; TÓTH, 1967a; TSAI, 1979; etc...).

5) Essai de délimitation du genre *Foeniculum*

a) Introduction

Nous avons précédemment (BADOC, 1986a) rapproché le fenouil du genre monospécifique *Ridolfia* et du genre *Anethum*, dont l'espèce type est l'aneth, *Anethum graveolens* L., et dont 2 autres espèces décrites par MAIRE (1936) présenteraient des analogies avec le fenouil. Nous avons indiqué dans le tableau 2 quelques caractères différentiels de ces espèces, et dans

le tableau 3 ceux de quelques taxons rattachés par divers auteurs au genre *Foeniculum*. Seul un fenouil du Tibesti nous paraît pouvoir constituer une seconde espèce possible. Nous proposons une définition provisoire du genre permettant le rejet des autres taxons.

b) Fenouil du Tibesti

En 1957, QUEZEL décrit une nouvelle espèce du Tibesti, *Foeniculum scoparium* Quézel, dont le port rappellerait *Pituranthos scoparius* (Coss. et Dur.) Benth. . Cette plante aurait des affinités évidentes avec *Foeniculum vulgare* Mill., dont elle serait issue, constituant une relique de souche méditerranéenne (QUEZEL, 1957; 1958; 1965). Elle en différerait (tab. 3) par les fruits, qui posséderaient des stries saillantes secondaires très nettes entre les côtes primaires. Contrairement aux sous-espèces *vulgare* et *piperitum*, qui présenteraient des piliers de collenchyme en regard de tous les faisceaux libéro-ligneux, "principaux" et "accessoires", on n'en aurait ici qu'en face des principaux (QUEZEL, 1958). Le caractère vivace et l'aspect des segments (fig. 3) rapprochent ce taxon de la variété *vulgare*.

c) Espèces intermédiaires entre le fenouil et l'aneth (tab. 2)

Anethum foeniculoides Maire et Wilczek, endémique du Maroc, a l'appareil végétatif d'un fenouil, une odeur peu agréable de fenouil mais des fruits ressemblant à ceux de l'aneth et d'odeur différente. *Anethum Theurkauffii* Maire, dédié au Dr Theurkauff, est un aneth avec des akènes différant de ceux du fenouil par des côtes marginales plus grandes et des côtes latérales et dorsale serrées, peu distantes (MAIRE, 1936). Cette dernière espèce reste, à notre avis, douteuse, en raison de la présence d'un involucre et d'un involucelle, d'autant qu'on n'est pas assuré que les fleurs soient jaunes.

d) Définition provisoire du genre *Foeniculum*

Les taxons suivants (tab. 3) ne sont pas à notre avis des fenouils:

- Parmi les nombreux synonymes de "*Seseli peucedanoides* (Bieb.) Koso-Pol.", plante du sud de l'Europe, plusieurs, souvent incorrects, se rapportent au genre *Foeniculum*, tels "*F. peucedanoides* Benth. & Hook. f", "*F. peucedanoides* Jackson", "*F. Rochelii* Janka", "*F. virescens* Arc." ou "*F. virescens* Benth. & Hook. f" (BENTHAM, 1867; INDEX KEWENSIS, 1895,

I: 972; PAOLETTI, 1900; HEGI et al., 1926; etc...); CALESTANI (1905) l'appelle "*F. peucedanoides* Jacks. ex auct.". FIORI (1925) inclut "*F. peucedanoides* (M.B.) Jacks." dans la "section 1 *Gasparrinia*". KOSO-POLJANSKY (1916) en fait un *Seseli* qu'il place dans son sous-genre *Foeniculum*.

- CALESTANI (1905) introduit pour la première fois dans le genre *Foeniculum* une plante de Grèce, Sicile et Italie du sud, "*F. graecum*", qui a été placée dans les genres *Bonannia*, *Ferula*, *Laserpitium*, *Ligusticum*, *Meum*, *Selinum* et *Sium*, avec les épithètes *graec(a)um*, *nudicaulis*, *resinifera* ou *resinos(a)um* (les tiges fournissent une résine jaune odorante), et *sylvestre*. TUTIN (1968) l'appelle "*Bonannia graeca* (L.) Halácsy", et le place à côté du genre *Palimbia*.

- "*Foeniculum salsum*" a été aussi proposée en 1905 par CALESTANI pour une Umbellifère de Russie méridionale qui a été rapportée aux genres *Peucedanum*, *Sison*, *Sium*, *Agasyllis*, *Siler*, *Palimbia*, *Ferula*, *Meum*, *Archangelica* et *Seseli* (KOSO-POLJANSKY, 1916, pages 165, 183; Flora of the U.S.S.R., 1974; TUTIN, 1968; etc...). L'appellation *Palimbia rediviva* (Pall.) Thell. est actuellement retenue. Cette espèce diffère du fenouil par la disposition de ses segments foliaires, par la présence de fibres à la base de la tige, de courts poils raides sur les feuilles, d'un involucre et d'un involucelle, ainsi que par ses fleurs blanc-jaunâtre et ses 3-4 bandelettes par vallécule.

- *Seseli tortuosum* L. (LINNE, 1753, page 260) correspond au "séséli de Marseille", plante médicinale anciennement connue, rencontrée dans la région méditerranéenne, le Caucase, et la Sibérie occidentale. On l'a appelée "*Foeniculum tortuosum*" (d'après BAUHIN, 1623, page 161; MORISON, 1672) à cause de la ressemblance de ses feuilles avec celles du fenouil. Elle possède des segments foliaires de dimension très variable et des pétales apparemment moins jaunes que ceux de l'espèce suivante.

- "*Seseli Webbia* Coss.", endémique des Canaries décrite la première fois par WEBB et BERTHELOT (1838) sous le nom "*Ferula ? tortuosa*. Webb.", a été rapporté au genre *Cnidium* et introduite dans le genre *Foeniculum* par BENTHAM (1867, page 902). La dénomination "*Foeniculum tortuosum* Benth. (ou Benth. & Hook. f) peut prêter à confusion avec l'espèce précédente (INDEX KEWENSIS, 1895, I: 972; KUNKEL et KUNKEL, 1978).

espèces caractères	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill. "fenouil"	<i>Anethum foeniculoides</i> Maire & Wilczek	<i>A. Theurkauffii</i> Maire	<i>A. graveolens</i> L. (inclu <i>A. sowa</i> Roxb.) "aneth"	<i>Ridolfia segetum</i> Moris
cotylédon	linéaire	-	-	± linéaire	linéaire, < 25 mm
nombre d'années	1, 2, plusieurs	plusieurs	1	1-2	1
plante, glabre		odeur de fenouil		aromatique	odeur fétide, faible
hauteur (cm)	(30)50-200(300)	50-100	+60	(10)-(200)	20-65-100
tige, striée	pleine ou creuse	peu rameuse		creuse ou non	rameuse, grêle
gaine (cm)	0 + 21	caduque supérieurat		0,1-2(10)	0,8-4
segments (mm)	mous ou rigides	+ 2-3	+5	5-30	1-30
feuilles stériles	(sub)distiques	-	-	± décussées	-
pennatiséquées	2-4(5) fois	2-3 fois	3 fois	2-4 fois	2-3(4) fois
temps végétation	120-190 j 1 ^{re} année	-	-	100-130 jours	-
pédoncule (cm)	0,4-15	-	-	8-24	+ 20
diamètre ombelle	3-(25) cm	-	-	5-22(29) cm	-
bractées de			linéaires		
l'involucre	0	0	5, pointues, 3-4 mm	0 (subnulles)	0 (subnulles)
l'involucelle	0	0	courtes lancéolées	0 (subnulles)	0 (subnulles)
rayons:		souvent grêles	minces, subanguleux		grêles
nombre	3-(50)	peu nombreux, + 12	= 16	4-50	10-30-45(60)
taille (cm)	1-8	+ 3, inégaux	+3, peu inégaux	0,4-13, subégaux	1-8, subégaux
pédicelle (mm)	1-10	-	-	0,6-10	3-10
fleurs/ombellule	(8)10-17-25(40)	-	-	8-46(61)	30 et plus
pétale	jaune à orangé	jaune	non observé	jaune	jaune vif
apex	incurvé, (±émarginé)	-	-	incurvé, (±émarginé)	incurvé, émarginé
sépales	presque nuls	nuls	visibles	subnuls	non visibles
fruit	peu comprimé glabre	comprimé par le dos glabre, ± luisant	peu comprimé glabre	± comprimé dorsim glabre	comprimé latérim glabre
goût	doux, amer, âcre	-	-	de carvi	-
odeur	anisée	-	forte, peu agréable	de carvi	-
longueur (mm)	2-16	4-4,2	3,5	2,1-6	1,5-2,5
largeur (mm)	1-4	2,2-2,5	2	1-3,5	0,5-1,3
épaisseur(akène)	1-1,5 mm	1,25 mm	1,25 mm	0,4-1 mm	-
1000 akènes (g)	3-8,25	2,3	-	0,85-3,1	0,45
côtes	± proéminentes		proéminentes		
dorsale + lat. commissurales		fort proéminentes 0,7 mm	épaisses 0,6 mm	(proéminentes) 0,1-0,8 mm	plates saillantes, étroites
nombre de <i>vittae</i> valléculaires	1-2(3)	1	1	1	1
commissuraux	2-4(6)	2	2	2(3)	2
albumen (marge)	plat	convexe	subconcave	(presque) plat	± concave
carpophore	bipartite + base	-	-	profondat bipartite	bipartite + base
bibliographie	HEGI et al., 1926 HOSNI, 1984 etc...	MAIRE, 1936 BADOC, 1986b	MAIRE, 1936	REICHENBACH, 1866-7, pp.65-66, pl. 127 ADHIKARI, 1965 GUPTA, 1977 MEIKLE, 1977; etc...	REICHENBACH, 1864-7, page 38, planche 91 BRIQUET, 1914 HEGI et al., 1926 MEIKLE, 1977; etc...

Tableau 2: Valeurs extrêmes rencontrées dans la littérature pour des caractères botaniques différentiels du fenouil et d'espèces voisines. -; donnée manquante

espèces caractères	<i>F. scoparium</i> Quézel	<i>Seseli peucedanoides</i> (Bieb.) Koso-Pol, (<i>F. peucedanoides</i> Jacks.)	<i>Bonannia graeca</i> (L.) Hal. (<i>F. graecum</i> Calest.)	<i>Seseli Webbii</i> Coss. (<i>F. tortuosum</i> Benth.)	<i>Seseli tortuosum</i> L.
cotylédons nombre d'années plante hauteur (cm) tige, striée feuille stérile segments(ultimes) bractées de l'involucre l'involucelle rayons; nombre taille (cm) pédicelle pétale apex sépalés	- plusieurs glabre, forte odeur 150-200 3-4 x pennatiséquée filiformes 0 0 3-6 1,5-2 8-12, + 3 mm -	± ovales plusieurs âcre, stolonifère 30-55-70(100) divariquée, peu rameuse, ± anguleuse fistuleuse 2-3 x pennatiséquée nettement mucronés rêches sur les bords linéaires(divisées) 4-7 et +, squameuses 5-7 rudes côté interne 5-11-20(et plus) inégaux - jaune verdâtre infléchi, émarginé subnuls	- plusieurs 30-50-80 glabre, rameuse supérieurement 2-3 x pennée dentés ou lobés pubescents dessous courtes, linéaires nombreuses nombreuses 6-13-20 - - jaune involuté nuls	- 2, plusieurs souvent rampante 10-50 trifoliée à 2 x pennatiséquée linéaires à ovales ± charnus plusieurs plusieurs 9-25 1,5-5 - jaunâtre involuté	allongés-lancéolés plusieurs 10-75 divariquée rameuse dès la base 2-5 x pennatiséquée par 3, charnus divariqués linéaires 0-1 (3) plusrs, pubescentes anguleux, duveteux 3-8-13 + 2,5 - blanc-pourpré, blanc-jaunâtre infléchi, émarginé courts, épais
fruit goût longueur (mm) largeur (mm) côtes primaires nombre de <i>vittae</i> valléculaires commissuraux carpophore albumen (marge)	côtes II nettes anisé 5 - très saillantes - - - -	papilles sur les vallécules 3-5 3-5 obtuses, égales 1-2(3,4) 2-4 incomplmt bipartite -	comprimé par le dos glabre = 6 - égales 3-4 - bipartite plat	- - égales, saillantes - - -	pubescent 2-4 1,5-2,5 égales, épaisses 1 2 plat
bibliographie	QUEZEL, 1957, 1958	BROTERO, 1827 REICHENBACH, 1864-7, page 46, planche 83 HEGI et al., 1926 FIORI, 1925 etc...	BENTHAM, 1867 LOJACONO-POJERO, 1891 ARCANGELI, 1894 TUTIN, 1968 etc...	BRAMWELL et BRAMWELL, 1974 KUNKEL et KUNKEL, 1978	REICHENBACH, 1863-7, page 34, planche 65 GRISEBACH, 1843 HEGI et al., 1926 FOURNIER, 1961 BALL, 1968; etc...

Tableau 3: Valeurs extrêmes rencontrées dans la littérature pour divers caractères botaniques d'espèces qui ont été rattachées au genre *Foeniculum*,
-: donnée manquante

Les fenouils seraient des plantes totalement glabres possédant des cotylédons linéaires, des feuilles primordiales et stériles pennatiséquées (sub)distiques ne formant pas une touffe de fibres à la base de la tige, des feuilles fertiles pennatiséquées tendant à se réduire à la gaine, un involucre et un involucelle (sub)nuls; les sépales seraient également subnuls et les pétales teintés de jaune à rouge, avec un apex involuté, entier ou légèrement émarginé. Les fruits dépasseraient 2.5 mm de long, ne seraient pas fortement comprimés, auraient des côtes saillantes, les commissurales étant seulement légèrement plus larges; on aurait des *vittae*, encore observables à maturité, en petit nombre dans les vallécules et à la commissure, et le carpophore serait bipartite jusqu'à la base.

Précisons quelques points:

- Le fenouil semble totalement glabre, ce qui le différencie de *Seseli peucedanoides*, *S. tortuosum* et *Bonannia graeca*. LOYAL et SHARMA (1981) signalent sur le jeune bourgeon floral de fenouil des petits poils blancs, non observés par ERBAR et LEINS (1985). Les cellules épidermiques forment des papilles sous la nervure principale, les bords et le mucron des segments ultimes du limbe du fenouil (MEYER, 1937) mais il ne s'agit pas de poils; on peut cependant y voir une tendance évolutive vers leur formation: la répartition des poils chez diverses *Ammineae* nous suggère en effet une apparition progressive possible de la pubescence, ne touchant d'abord que quelques organes, pendant une courte période de croissance.
- Le fenouil possède, contrairement à *Seseli peucedanoides* et *S. tortuosum*, des cotylédons linéaires et d'une manière plus nette que pour l'aneth. Le genre *Seseli* n'a pas un type cotylédonaire homogène (GUINOCHE et VILMORIN, 1975, 2: 450) et doit être, à notre avis, révisé.
- On vérifiera s'il y a lieu de séparer *Seseli peucedanoides* et *Silaum selinoides* (Jacq.) Beck., aux nombreux caractères communs. Ces 2 espèces présentent, à la base, des fibres résiduelles des premières feuilles mortes, caractère fréquent chez les séselis (voir planches de REICHENBACH, 1863-7).
- Les pétales du fenouil ne sont pas aussi émarginés à l'apex que ceux de *Ridolfia segetum*, et leur couleur n'est jamais blanche, contrairement à ceux de *Seseli tortuosum*. BROTERO (1827) signale, curieusement, des pétales intérieurement blancs et extérieurement rouges pour *Seseli peucedanoides*, ce dernier caractère étant parfois signalé pour les fleurs jaune-verdâtre de *Silaum selinoides* (HEGI et al., 1926).

II ORIGINE DES FENOUILS

1) Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les fenouils présentent une importante variabilité de caractères, regroupant par exemple des plantes annuelles, bisannuelles ou vivaces. Ces données alliées à la connaissance de la répartition géographique actuelle et aux éventuelles distinctions chimiques suffisent habituellement pour établir l'aire d'origine probable d'une espèce. Mais il est nécessaire de tenir compte de l'intervention humaine dans le cas du fenouil, plante aux multiples usages qui a dû suivre les migrations de l'homme et a été cultivée, sélectionnée au cours des siècles. La paléobotanique pourrait donner une idée de la répartition de départ du fenouil mais ses apports sont, jusqu'à présent, restreints. L'ethnobotanique est, à notre avis, la science la plus appropriée pour approcher l'origine des différentes variétés, du fait d'un nombre extrêmement important de données. Les documents anciens permettent parfois de dater avec une assez grande précision la présence du fenouil dans une région donnée; les descriptions sont rarement suffisamment précises pour savoir à quelle variété on a affaire. L'étude des noms vernaculaires, coutumes, usages du fenouil, peut conduire à d'intéressantes interprétations.

2) Cas particulier de *Foeniculum scoparium* Quézel

QUEZEL (1965) considère que ce fenouil du Tibesti est une endémique de souche méditerranéenne et qu'il ne proviendrait donc pas d'une introduction humaine. Si on admet une telle hypothèse, le fenouil devait être présent sur une partie au moins de la côte nord-africaine avant la dernière glaciation.

3) Données historiques

a) Antiquité

- Selon LAGRIFFE (1968), le fenouil devait être utilisé par l'homme des cavernes et était connu des Babyloniens et des anciens Perses pour ses propriétés médicinales, aromatiques et culinaires.

- Le fenouil est cité dans plusieurs "scalae" et papyrus d'Egypte (LORET, 1892), en particulier le Papyrus gnostique de Leide, le Papyrus médical de Berlin, le grand Papyrus Harris et le célèbre Papyrus Ebers retrouvé par Georg Ebers à Louqsor et datant d'environ 1600 av. J.-C. .

- Les propriétés médicinales, aromatiques, alimentaires du fenouil ont été décrites par les Grecs, tels le médecin Hippocrate au 5^{ème} siècle av. J.-C., le philosophe et savant Théophraste au 4^{ème} siècle av. J.-C., le médecin Dioscoride au 1^{er} siècle apr. J.-C., le médecin Galien, l'orateur Athénée et l'écrivain Elieen au 2^{ème} et 3^{ème} siècle apr. J.-C., le médecin Oribase au 4^{ème} siècle apr. J.-C., etc... (BAUHIN et al., 1651; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; BAILLY et EGGER, 1968; DETIENNE, 1972; etc...).

Les aromates occupent une place importante dans la mythologie grecque (DETIENNE, 1972; *ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS*, 1974-1975; etc...) et le fenouil, considéré comme aphrodisiaque, y est souvent mentionné.

Le fenouil a été utilisé dans le rituel d'Adonis, séducteur d'Aphrodite, blessé mortellement par un sanglier car les passions violentes sont éphémères et incompatibles avec la vie de la cité (FRIEDBERG, 1978). Les "jardins d'Adonis" consistaient en des semis, dans des pots ou des vases d'argile, de quelques plantes comme le fenouil, ne pouvant arriver à maturité car on les plaçait en plein soleil. Le dessèchement rapide des plantules soumises à la canicule symboliserait la mort du dieu. Ces plantations étaient du strict ressort des femmes. Les courtisanes et les concubines les montraient à leurs amants lors des fêtes d'Adonis ou "adonies", qui contrasteraient avec les "thesmophories", fêtes placées sous le patronage de Déméter, puissance des nourritures céréalières, et réservées aux épouses légitimes (FRAZER, 1976; DETIENNE, 1972; *ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS*, 1974; FRIEDBERG, 1978).

Le fenouil de l'est de l'Espagne décrit au 1^{er} siècle apr. J.-C. par Dioscoride et le romain Pline l'Ancien correspond de toute évidence à *Ferula communis* L. . C'est aussi une fêrule qui à notre avis est mise en

jeu dans le mythe de Prométhée: suite à l'interdiction de Zeus faite aux hommes de faire usage du feu pour se nourrir et cuire la viande, Prométhée vole le feu et le cache dans le "narthex". Ce terme a été traduit en latin par "Ferula" et désignerait la tige sèche du fenouil ou de la fêrule (CONSTANCE, 1971). Dans la version du poète Eschyle (3ème siècle av. J.-C.) du mythe de Prométhée, il est question de fenouil, drogue magique octroyant l'immortalité (ALBERT-PUELO, 1980); mais il s'agit probablement d'une fêrule: en effet, la moelle séchée de *Ferula communis* L. peut servir d'amadou et brûler lentement dans la tige. Par ailleurs, on tire une résine des tiges de certaines fêrules.

Immortalité et moelle combustible font que les fêrules pourraient avoir fait partie des espèces aromatiques avec lesquelles le phénix, oiseau fabuleux, compose le nid qui lui sert de bûcher pour renaître de ses cendres tous les 500 ans et plus. Mais il pourrait aussi s'agir du fenouil, comme le prétend DETIENNE (1972). On peut faire un rapprochement entre le rattachement du phénix au culte du soleil et le fait que le nom grec du fenouil correspond à celui de l'arrière petit-fils du Soleil.

Les grecs font aussi appel aux aromates pour fêter Dionysos, un dieu "mangeur de chair crue", bien différent du titan Prométhée. On se couronnait la tête de guirlandes aromatiques, réputées amoindrir les effets de l'alcool. Certains auteurs, tel FOURNIER (1947), pensent que le fenouil était alors utilisé. Dionysos devient Bacchus pour les romains, qui se couronnaient aussi de diverses plantes odorantes, de même que les gaulois (LAGRIFFE, 1968).

- Les Romains ont repris les usages grecs du fenouil et les ont améliorés. Le poète Macer (1^{er} siècle av. J.-C.) et le naturaliste Pline l'Ancien (23-79 apr. J.-C.) mentionnent quelques propriétés médicinales; des préparations culinaires sont citées par le poète Plaute (≈250-184 av. J.-C.) et, au 1^{er} siècle apr. J.-C., par le gastronome Apicius et l'écrivain Columelle (BAUHIN et al., 1651; MORISON, 1672; GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; LAGRIFFE, 1968). L'orateur Cicéron, au 1^{er} siècle av. J.-C., parle dans son *Epistulae ad Atticum* d'un champ de fenouil apparemment situé en Tarraconaise, province de l'Espagne romaine.

Les Gaulois auraient utilisé le fenouil comme condiment avant la conquête romaine (LAGRIFFE, 1968).

b) Moyen-âge (395 à 1453 apr. J.-C)

Le médecin bordelais Marcellus Empiricus (4^{ème} siècle) prescrivait le fenouil associé au vin (LAGRIFFE, 1968). A l'époque carolingienne, le fenouil est mentionné dans des édits ou "capitulaires" de Charlemagne (742-814) et de Louis 1^{er} le Pieux (778-840), un de ses fils (FOURNIER, 1947). La culture du fenouil est en particulier ordonnée dans tous les jardins par Charlemagne vers 812 dans le "*Capitulare de Villis et cortis imperialibus*", capitulaire des terres et cours impériales. Les moines bénédictins ont contribué à le répandre en Europe (FOURNIER, 1947). Ainsi, il était cultivé au monastère bénédictin de Saint-Gall en Suisse en 820 (GLEISBERG et HARTROTT, 1960), utilisé par Walahfried Strabon au 9^{ème} siècle dans l'abbaye bénédictine de Reichenau en Allemagne (LAGRIFFE, 1968). Ses propriétés sont mentionnées par Sainte Hildegarde de Bingen (1098-1179), abbesse bénédictine allemande (GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961). Le fenouil est cité en 901 dans le "calendario de Cordoua", calendrier de Cordoue (Espagne). Ses propriétés étaient célébrées en quelques vers (LAGRIFFE, 1968; PALAISEUL, 1972) par l'école de Salerne, école italienne de médecine qui a joui d'une grande renommée au 11^{ème} siècle, avant d'être détruite en 1193 par Henri IV. Les propriétés du fenouil sont encore mentionnées par Saint Albert le Grand, moine dominicain et savant allemand et son usage populaire, pour "châtier le mal spirituel", par l'abbé français Mathieu de Vendôme au 13^{ème} siècle. Le fenouil était, en effet, réputé au moyen âge protéger du tonnerre, revenants, mauvais esprits, sorciers, démons, lutins, etc... (HEGI et al., 1926; ROLLAND, 1967; LOVELOCK, 1972; PALAISEUL, 1972). Le fenouil n'est pas oublié par l'école arabe au 13^{ème} siècle, notamment par Ibn al-Baytar (HEGI et al., 1926). Guillaume Tyrel, cuisinier des rois de France Charles V (1337-1380) et VI (1368-1422), l'utilisait comme condiment (LAGRIFFE, 1968).

c) Du 15^{ème} au 17^{ème} siècle

La Renaissance débute en Italie vers le milieu du 14^{ème} siècle et se répand en Europe au 15^{ème} et 16^{ème} siècles. Elle est marquée par l'essor de l'imprimerie et la remise à l'honneur des auteurs classiques. L'ésotérisme, qui a néanmoins suscité un grand nombre d'essais empiriques, n'est plus de mise. Cependant, le nombre d'indications thérapeutiques du fenouil reste important et les formes et les formules d'administration se multiplient

(MERKES, 1980). L'obtention d'essence par distillation est décrite pour le fenouil par Brunschwig en 1500 et Porta en 1536; l'essence est citée dans la "*Pharmacopoea Augustana*" en 1580 et dans le "*Dispensatorium Noricum*" en 1589 (GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961).

En Allemagne, le fenouil est mentionné dans le "*Hortus Sanitatis*" de Mayence en 1485 (BROCKHAUS, 1968), dans les taxes sur les épices et les plantes médicinales à Berlin en 1574 et à Frankfurt am Main en 1582 (GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961). Il était utilisé à Lunebourg en 1475, à Worms en 1582 et à Braunschweig en 1666 (MERKES, 1980).

En Angleterre, le fenouil est cité par Shakespeare (1564-1616), MORISON (1672) et RAY (1686).

En France, il est décrit par l'agronome Olivier de SERRES au début du 17^{ème} siècle et ses synonymes sont répertoriés par les frères BAUHIN (1623, 1651). Le médecin et chimiste Nicolas Lemery (1645-1715) l'emploie contre diverses maladies (LAGRIFFE, 1968). Le roi Louis XIV accorda en 1676 une licence générale à la liqueur "rossoly", qui eu une grande vogue à la cour et renfermait du fenouil, tout comme la "fenouillette", signalée par la marquise de Sévigné (1626-1696) dans une de ses lettres (LAGRIFFE, 1968; LOVELOCK, 1972).

En Italie, le fenouil est mentionné par les médecins Matthiolo (1500-1577) et Césalpin (1519-1603) (BAUHIN, 1623).

d) Origine et expansion des fenouils cultivés

α) Fenouils doux et amer

L'origine de ces fenouils, cultivés principalement pour l'obtention de leurs semences riches en anéthole, est difficile à établir. Le caractère vivace ou (bis)annuel et la saveur des fruits ne sont pas toujours indiqués, et il est alors difficile de distinguer les variétés *dulce* et *vulgare*. Cette dernière pourrait renfermer des formes sauvages et la frontière avec la sous-espèce *piperitum* n'est pas nette. Une complication supplémentaire est la récolte de fenouils sauvages, comme on l'a reporté dans le midi de la France (LAG, 1891), au Maroc (GUENTHER, 1950) et en Italie (LA FACE, 1957). Sans compter que les variétés *azoricum* et *panmorium* fournissent aussi des fruits et de l'essence commercialisables.

Le fenouil a déjà été propagé en Europe par les bénédictins quand BAUHIN (1623) en distingue de 7 types. Le 4^{ème}, dont les fleurs seraient blanches,

et le 6^{ème} et le 7^{ème} appartiendraient, à notre avis, à d'autres genres. "*Foeniculum vulgare Germanicum*" et "*F. vulg. Italicum semine oblongo gustu acuto*" pourraient correspondre en partie au fenouil amer cultivé, et "*Foeniculum dulce*", d'Italie, au fenouil doux.

Pour MILLER (1768), le fenouil amer aurait été introduit en Angleterre, car il pousse près des jardins et le fenouil doux proviendrait d'Italie et d'Allemagne. Toujours au 18^{ème} siècle, des fruits d'Italie et de Crète sont vendus en Allemagne (MERKES, 1980).

Le fenouil doux était largement cultivé dans le sud de la France au 19^{ème} siècle (LAG, 1891; etc...) et proviendrait d'Italie. Selon ROLET (1918), il tendait à disparaître dans la vallée de la Loire à la fin du 19^{ème} et on distinguait dans le Vaucluse le "petit" et "gros Quarantain". A la même époque, on cultive des fenouils, probablement doux, en Pouille (Italie du Sud), en Macédoine (Yougoslavie), en Turquie, et vraisemblablement amers dans la région vogéso-rhénane (KIRSCHLEGER, 1870), dans le sud de l'actuelle Allemagne de l'Est (Saxe, Thuringe, Magdebourg), en Galicie (Pologne et Russie), Moravie (Tchécoslovaquie), Autriche et Roumanie (consulter Schimmel et C^{ie}, 1889-1898; etc...).

Au début du 20^{ème} siècle, les prix des fenouils de Roumanie, Galicie, Macédoine, dépendent des aléas climatiques et entraînent une fluctuation des surfaces cultivées (consulter Schimmel et C^{ie}, 1905-1932). La culture du fenouil tend à disparaître en Algérie mais est signalée dans un plus grand nombre de régions: Hollande, sud de l'Allemagne de l'Ouest (Bavière, Wurtemberg), Silésie (Pologne), Hongrie, Bulgarie, Espagne, île de Malte, Egypte, Amérique du Nord, etc... (ROLET, 1918; HEGI et al., 1926; SCHMIDT, 1926).

MARTÍNEZ-CROVETTO constate que seule la variété *dulce* est cultivée en Argentine en 1947; le fenouil de Saxe a été introduit peu après (GUENTHER, 1956) et le fenouil amer est actuellement cultivé dans plusieurs provinces (ROZAS DE VOTTERO et al., 1981). Le fenouil amer "Simplex" et le fenouil doux "*Macedonicum*" sont signalés en Yougoslavie (NAVES et TUCAKOV, 1959). La culture du fenouil s'est développée au nord-est de la Bulgarie (KAZAKOVA, 1971), où des travaux d'amélioration ont été entrepris (CHINGOVA-BOJADZHIEVA, 1969).

En France, où le fenouil doux n'a cessé d'être cultivé dans la vallée du Rhône, on a favorisé la culture et l'amélioration des variétés *dulce* et

vulgare après la montée des cours de l'anéthole provenant de la badiane (*Illicium verum* Hook. f) en 1974 (MENOIRET, 1985). La culture du fenouil a été encouragée au Canada (CHUBEY et DORRELL, 1976), à l'île de la Réunion (CONAN, 1977), et récemment en Tasmanie et Nouvelle-Zélande (HUNAUULT et al., 1988).

β) Variété *azoricum*

- Si le fenouil a été consommé cuit ou cru comme légume dans l'antiquité, la première mention certaine du fenouil bulbeux serait donnée (GIBAUT, 1912) par Agostino dell Riccio. Cet auteur aurait parlé d'un "finocchio dolce", cultivé en Italie comme plante étrangère et nouvelle dans quelques jardins au milieu du 16^{ème} siècle, et qui aurait été apporté de Bologne à Florence à cette époque. Le médecin et botaniste Camerarius (1534-1598) parle aussi d'un fenouil apporté de Bologne, "*Foeniculum majus*", qui est dit romain ou de Florence, et posséderait des fruits très doux. Ce dernier n'est pas introduit par BAUHIN et al. (1651) dans leur "*Foeniculum rotundiori semine, quibusdam Hippomarathrum*", qui pourrait répondre, d'après la description, à la variété *azoricum*. Ne peuvent être retenues comme références valables que celles où le caractère renflé des gaines ne laisse aucun doute, du fait de la confusion fréquente entre les variétés.

Au début du 17^{ème} siècle, l'agronome français Olivier de SERRES parle (tome 1) d'un fenouil dont "la feuille est une salade excellente, quand étant blanchie, elle est tondue encore tendre" et il donne le moyen de la blanchir en la couvrant de "pailles, feuillards ou autres drogues", ce qui s'approche de la technique de buttage utilisée pour la culture de la variété *azoricum*. Mais il n'est pas fait mention de bulbe, et "ce gros et doux fenouil" qu'on peut confire (tome 4) aurait une odeur et saveur plus douce qu'un autre fenouil aux fruits plus petits. Or, les fruits du fenouil doux étaient, à la fin du siècle dernier, plus gros que ceux du fenouil amer; le fenouil décrit par SERRES pourrait correspondre à la variété *dulce* ou bien être une ancienne forme des fenouils doux et bulbeux actuels.

GIBAUT (1912) prétend que Mollet, jardinier des rois Henri IV et Louis XIII, cultivait le fenouil bulbeux au potager royal et y voit une influence de la cour italienne des Médicis, idée reprise par BOIS (1927) et DELAVEAU (1987, page 239). Mais aucune indication ne permet de penser que

le "Fenoüil doux", rapidement mentionné par MOLLET (1678), correspond à la variété *azoricum*.

- Les frères BAUHIN (1623, 1651) ne signalent pas le terme "*azoricum*" qui signifie "des Açores". MORISON (1672, page 72) parle de "*Foeniculum azoricum*" pour un fenouil dont les ombelles concaves sont de la [superficie d'un nid d'oiseau]. Pour RAY (1686) et PLUKENET (1696), "*Foeniculum dulce Azoricum*" diffère de "*Foeniculum dulce*" par des rayons de l'ombelle plus longs, une ombelle concave et des fruits plus grands. Aucune de ces indications ne permet d'être assuré qu'on a affaire au fenouil bulbeux. L'appellation "*azoricum*" découle peut-être de l'existence d'un fenouil provenant des Açores. L'Atlas Médicis serait le premier document attestant en 1351 l'existence de ces îles, colonisées par les Portugais en 1427-1450. Le fenouil y pousse à l'état sauvage (SJÖGREN, 1984), ainsi qu'à Madère, occupée par les Portugais en 1418-1419 et dont la capitale, Funchal, dérive (LOWE, 1864; DELAVEAU, 1987, page 238) du nom portugais du fenouil, "funcho".

Le "*Foeniculum dulce Azoricum*" de RAY et PLUKENET est appelé "*F (Azoricum)*" par l'anglais MILLER (1768), qui le dit "supposé des Açores". Tige charnue, racine annuelle et caractère "nain" correspondent sans conteste au fenouil bulbeux. Par la suite, on a rapporté que le fenouil serait originaire de Turquie ou d'Italie.

- La culture du fenouil bulbeux a toujours été très développée en Italie, qui reste le premier producteur et exportateur mondial, à côté du Sénégal, Afrique du Nord, Espagne, France, Hollande, Allemagne, Suisse, Grèce, etc... (MEUNIER, 1913; PERON, 1981; etc...). Concernant l'amélioration du fenouil bulbeux, il faut citer SCARAMUZZI en Italie, la station de Wädenswil en Suisse, les Etablissements Clause en France, ZAOSTROVSKAYA et EMMERIKH en Russie, etc...

γ) Fenouils d'Asie orientale

Le fenouil est largement cultivé en Asie pour ses propriétés alimentaires et médicinales. Selon LAGRIFFE (1968), il y serait connu depuis longtemps et serait venu en Chine par les steppes du Turkestan et de Mongolie.

- Il est cité dans un herbier chinois de 659 apr. J.-C., sous la dynastie des Tang (HSU et al., 1986). ROSENTHALER (1913) signale sa culture un peu partout en Chine, d'où il est faiblement exporté.

- Selon THUNBERG (1784), le fenouil du Japon proviendrait de Chine. Sa mention dans les livres KWA-WI implique une présence antérieure à 1759. YABE (1902) le dit fréquent dans les jardins. Ses fruits sont exportés dès la fin du 19^{ème} siècle (SCHIMMEL et C^{ie}, 1889; UMNEY, 1896, 1897).

- Le fenouil a été cultivé dans diverses parties du Bengale (ROXBURGH, 1832) ainsi qu'en Inde (DALGADO, 1898), d'où il a été rapidement exporté vers la France et l'Angleterre (UMNEY, 1896, 1897; ROLET, 1918). Actuellement, on le rencontre communément à Ceylan, en Malaisie. En Inde, les fruits de Lucknow sont fort appréciés comparés à ceux de Bombay ou du Bihar (d'après SUNDARARAJ et al., 1963); des exportations ont lieu vers le Pakistan, le Sri Lanka, la Birmanie, la Malaisie, le Kenya, la Suède, la Grande-Bretagne, la France et les Etats-Unis (MAHESHWARI et TANDON, 1959); de nombreux travaux d'amélioration ont été menés.

e) Stabilité des variétés

Selon BAUHIN (1623), "*Foeniculum dulce*" donnerait, d'après les observations de Césalpin, Camérarius et Tabernaemontanus (16^{ème} siècle), au bout de 2-3 ans "*F. sylvestre*" ou "*F. vulgare Germanicum*". Ces données semblent s'appliquer aux fruits de 2^{ème} et 3^{ème} année de croissance, qui tendraient à diminuer de taille. Elles sont formulées de manière imprécise et ont peut-être conduit plusieurs auteurs (MORISON, 1672; RAY, 1686; BOMARE, 1800; etc...) à parler d'une dégénérescence des fenouils doux, voire bulbeux, suite à des semis successifs. MILLER (1768) constate par contre que les variétés *dulce* et *vulgare* maintiennent en champs leurs différences.

On a aussi pensé que la saveur âcre du fenouil vivace se perd par la culture (BOMARE, 1800; BERNEAUD, 1835). HEGI et al. (1926) vont jusqu'à supposer que la sous-espèce *vulgare* correspond à un stade de développement optimal de la sous-espèce *piperitum* et résulte du passage dans des sols riches et de son amélioration. Ces mêmes auteurs estiment que, puisque la saveur des fruits du fenouil bulbeux serait aussi bien douce que désagréable, la variété *azoricum* provient tout autant de la variété *dulce* que *vulgare*.

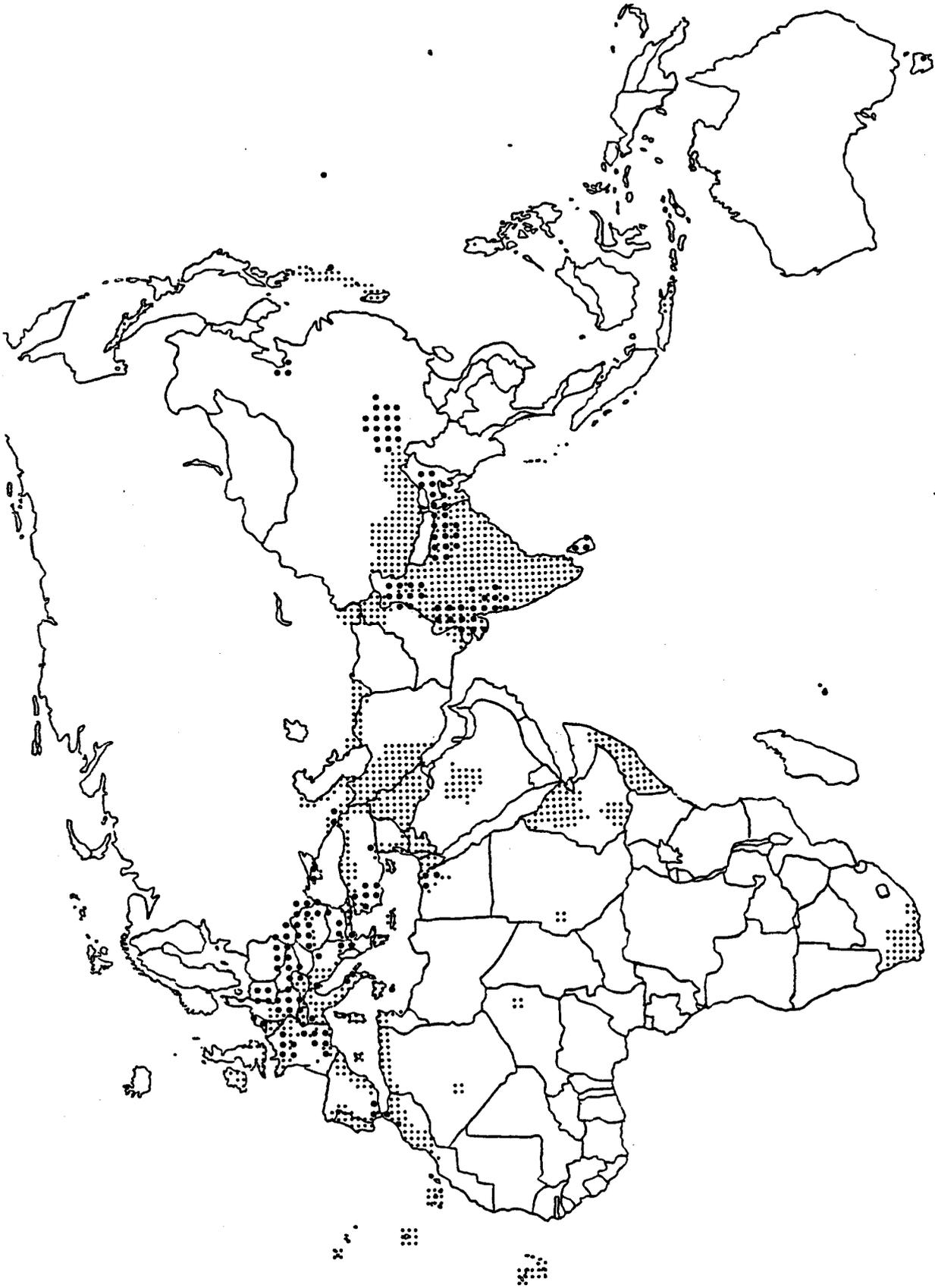


Figure 6. Aire de culture (••) et de répartition à l'état sauvage ou subspontané (▣▣) du fenouil, *Foeniculum vulgare* Mill.

4) Aire géographique du fenouil à l'état sauvage

Les 2 sous-espèces du fenouil ne présentent apparemment pas de distinction écologique et se rencontrent jusqu'à 1900 mètres dans les lieux de déclivité non excessive, secs, ensoleillés, calcaires ou sableux, pierreux et incultes, le long des chemins, des voies ferrées, des rivières, de la mer ou encore dans les vignes ou les forêts riches en conifères.

Nous donnons ci-dessous l'aire minimale de répartition des 2 sous-espèces à l'état sauvage ou subsponané établie à partir des documents en notre possession (figure 6):

- Sous-espèce *piperitum*

- Europe : transporté en Angleterre (HEGI et al., 1926); France: Corse (BRIQUET et LITARDIERE, 1938), Languedoc, Roussillon, Dauphiné, Provence; Espagne, Portugal; introduit en Allemagne (GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961); Italie (HEGI et al., 1926), Sicile (LOJACONO-POJERO, 1991), Sardaigne; Malte; Yougoslavie; Istrie, Croatie; Grèce, Crète
- Asie occidentale: Chypre (MEIKLE, 1977); Palestine, Liban, Syrie, Jordanie, Irak (MOUTERDE, 1970); Iran, Arabie Saoudite
- Afrique : Cap vert (CHEVALIER, 1935); Canaries (KUNTZE, 1891; PITARD et PROUST, 1973) où il aurait été introduit (KUNZEL, 1977); Madère; Açores; Maroc (JAHANDIEZ et MAIRE, 1932); Algérie: province d'Oran; Sinai, Egypte (HOSNI, 1984), Ethiopie (CUFODONTIS, 1959)
- Amérique : introduit en Argentine (HEGI et al., 1926) et en Amérique du Nord

- Sous-espèce *vulgare*

- Europe : Irlande, Angleterre méridionale, Guernsey (MAC CLINTOCK, 1975); France: Bretagne, Languedoc; Espagne, Portugal; Allemagne: naturalisé le long du Rhin, Suisse (HEGI et al., 1926); Italie, Sicile; Malte (BORG, 1976); Yougoslavie (Istrie, littoral, Croatie) (REICHENBACH, 1867); Grèce: Macédoine, Attique, Péloponèse, Thrace (NYMAN, 1879)
- Asie occidentale: Turquie (voir HEDGE et LAMOND, 1972); Chypre (MEIKLE, 1977); Caucase; Israël (ZOHARY, 1972); subsponané au Liban (MOUTERDE, 1970); Syrie; Iran; Arabie Pétrée
- Asie orientale : nord du Pakistan (ASHRAF et al., 1975); Inde; Chine, Tibet, Taiwan, Japon; îles Ryu-Kyu
- Afrique : Cap vert; Canaries; Madère, Açores, Maroc (JAHANDIEZ et MAIRE, 1932); Algérie: côte, atlas tellien, plus rare dans le Sahara central; Tunisie: île de Djerba; Egypte (HOSNI, 1984); Somalie, Ethiopie (CUFODONTIS, 1959) où on l'a peut-être cultivé autrefois (ENGLER, 1975); Niger: oasis de Birma; Afrique du Sud
- Amérique : Argentine (MARTÍNEZ-CROVETTO, 1947)
- Océanie : Nouvelle-Zélande, Australie

Le fenouil est encore signalé en Belgique (ROMPAEY et DELVOSALLE, 1972), en Lorraine, Champagne, Dordogne (BONNIER, 1920), en Crimée, au Turkménistan et au Pamir (Flora of the U.S.S.R., 1973), en Biélorussie, dans l'île Sakhaline (U.R.S.S.), à l'est de Java, en Polynésie dans l'île de Niue, au Soudan dans le Darfur (QUEZEL, 1965, page 222), aux Etats-Unis (Californie, Oregón, Nébraska, Texas, Floride, Connecticut, etc...) où il semble échappé des cultures, au Mexique, au Brésil et en Uruguay.

5) Noms vernaculaires du fenouil

a) Dénominations dérivées de l'égyptien ancien

Le fenouil semble avoir possédé dans l'Égypte antique au moins 2 désignations.

La première est "shamari hoout" voire "shamârn" et correspond en copte, langue dérivée de l'égyptien ancien, à "shamar hoout" (LORET, 1892). Cette désignation se retrouve dans l'arabe "shamar" (Égypte), "shamra" (Syrie), "schumar" (Palestine), "choumra" (Liban, obs. pers.), "chemar" (Tunisie), "sciamar", etc... (LORET, 1892; BLATTER, 1919; HEGI et al., 1926; BOIS, 1927; EL-KHRISY et al., 1980; etc...).

La deuxième est "besbes" (LORET, 1892). Ce terme reste employé dans certaines régions en Tunisie, Algérie et Maroc (BATTANDIER et TRABUT, 1902; BOIS, 1927; NEGRE, 1962), et se prononce [besbes] d'après nos observations. On trouve encore "bisbâs" (LORET, 1892), "besbas" en Tunisie (DORVAULT, 1948), "busbies" à Malte (BORG, 1976). Le terme "babiyan" d'Iran (DORVAULT, 1948) est peut-être apparenté, mais fait plutôt penser à "badian" du Baloutchistan et d'Inde, probablement par confusion avec la badiane (*Illicium verum* Hook. f), ou bien à "raziane" (Iran), qui appartient à une autre série d'appellations.

Les termes coptes "pi-anéoumor" et "pi-ousabin" (LORET, 1892) ne semblent pas avoir été repris.

b) Dénominations dérivées du grec

Le fenouil est appelé "marathron" (μάραθρον), "marathon" (μάραθος) ou "marathos" (μάραθος) par les anciens Grecs (BAILLY et EGGER, 1968). L'origine de ce terme pourrait à notre avis provenir de "marainesthai" ou "marainein", se faner, se dessécher, qui font partie selon DETIENNE (1972) du vocabulaire technique des jardins d'Adonis. Il faut signaler la légende qui veut que Marathon, arrière petit-fils du soleil, alla dans la plaine de Marathon où il fit abandon de son royaume à ses 2 fils (DETIENNE et VERNANT, 1979). C'est dans cette plaine, qui doit son nom (Μαραθῶν) à une localité située à 35 km d'Athènes, qu'eut lieu la bataille de Marathon où les athéniens l'emportèrent sur les perses en 490 ap. J.-C. (ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS, 1975). La course d'un soldat qui mourut d'épuisement après avoir couru annoncer la victoire à Athènes est à l'origine du "marathon", épreuve de course à pied.

La ville de Marathorounon en Chypre rappelle les désignations grecques du fenouil, qui ont été reprises telles quelles par le latin (ANDRE, 1985). "Marathus", "maratrum", "matathris" sont des désignations latines du moyen-âge (ROLLAND, 1967). Le roumain "molură" dériverait de "marathon" selon FRIEDBERG (1978).

c) Désignations des pays de l'Est

En Europe de l'Est, le fenouil est souvent confondu avec l'aneth et est désigné de la manière suivante (HEGI et al., 1926; BOIS, 1927; Dictionnaire des plantes utiles en vingt langues européennes, 1970; FRIEDBERG, 1977; etc...):

- Albanie : "kopër"
- Yougoslavie : "morača", "komorača", "komarač", "komorač", "kowiarič", "kowiariček", etc...
- Bulgarie : "morac"
- Hongrie : "édeskömény", "kömény", "kapor"
- Tchécoslovaquie: "rzjmskikopr"
- Pologne : "koperek", "koper", "koper włoski", "koper wloskowaty", "kopr", "kopr wolsky", "kopr walasky", "kepr", etc...
- Russie : "koper wloski", "krop", "oukrop", "ukrop woljoschski"

On peut envisager une analogie avec le "camphre", car l'aneth, par sa carvone, et le fenouil par sa fenchone peuvent rappeler le goût camphré; le camphre se dit "el kâfoûr" en arabe, langue dont l'expansion ne commence qu'après 622, date qui marque le commencement de l'ère musulmane.

Mais le roumain "molură", qui serait d'origine grecque, n'est pas à notre avis tellement éloigné de "moraca" et le fenouil pourrait alors avoir été propagé dans les pays de l'Est beaucoup plus tôt à partir de la Grèce. Dans le terme "édeskömény", "édes" fait penser à "odas" et "adas" qui désignent le fenouil et l'aneth en Malaisie et Indonésie.

d) Dénominations dérivées du latin

Les auteurs classiques appelaient le fenouil "*fenuclum*" (Dioscoride), "*feniculum*" (Pline), "*foeniculum*" (Columelle), "*feniculus*" (Oribase). Ces termes proviennent du diminutif de "*fenum*", "*faenum*" ou "*foenum*", le foin; le fenouil a en effet un feuillage très divisé, et, séché, il a pu rappeler le foin par son aspect ou son odeur. COSTE (1902) est le seul auteur à notre connaissance à proposer une autre origine, "*funiculus*", la ficelle, par allusion aux lanières filiformes des feuilles.

Ces termes ont été très remaniés au moyen-âge; "*feniculus*" et "*feniculum*" sont probablement à l'origine de "*finiculus*" et "*finiculum*"; on trouve aussi "*fanculum*" (LOVELOCK, 1972), "*fenuculus*", "*feniculum*", "*fenicium*", "*penuclu*", "*panicum*", "*pannichium*" (ROLLAND, 1967), "*fenicolum*", "*geniculum*", etc... Pour les désignations "*sindula*", "*scindula*", et surtout "*mirsincus*" (ROLLAND, 1967), la parenté est incertaine.

Du latin moyen-âgeux découlent la plupart des désignations de l'Europe de l'Ouest; dans les pays de l'Est, les noms d'origine latine sont moins usités et peu nombreux:

- Italie : "*finocchio*", "*finichio*", "*fenochio*", etc...
- France : ROLLAND (1967) reporte une centaine de dénominations d'origine latine, telles "*fenoil*" au 12^{ème} siècle, "*feneule*" au 13^{ème}, "*fanueil*", "*fanouil*", "*fenerelle*" au 14^{ème}, "*fenicle*" au 15^{ème}, "*fenoueil*", "*fanouil*" et "*fenouil*" au 16^{ème}, etc...
- Espagne : "*fenollo*", "*funcho*", "*hinojo*", "*linojo*", etc...
- Portugal : "*funcho*"
- Allemagne : "*Fenihhal*", "*Finchel*", "*Fenchel*", etc... (GERTH VAN WIJK, 1911; HEGI et al., 1926)
- Belgique : "*venkel*", "*fenkel*", "*foele*" (BONNIER, 1920), etc..
- Hollande : "*venkel*", etc.. (GERTH VAN WIJK, 1911)
- Danemark : "*fennikel*"
- Norvège : "*fenikel*"
- Suède : "*fänkal*", "*fenkol*", etc...
- Angleterre : "*fynkle*", "*fenkle*", "*fennel*", etc... (GERTH VAN WIJK, 1911)
- Guernesey : "*fanoué*", "*fenaisie*" (MAC CLINTOCK, 1975)
- Pologne : "*fankiel*", "*fenkul wloski*"
- Russie : "*fennekel*", "*fenkulwloski*", "*fenhel*", etc...
- Yougoslavie : "*fenikel*"
- Tchécoslovaquie : "*fenikel*", "*fenykl*"
- Roumanie : "*Fenicul*"

Le konkani "*Funçh*" (DALGADO, 1898) pourrait aussi être d'origine latine.

e) Désignations dérivées du sanscrit

Le sanscrit "*śata puśpa*" (prononcer [ṣatapuṣpa]) signifie "qui a 100 fleurs" et s'applique aussi bien au fenouil qu'à l'aneth et à l'anis (*Pimpinella anisum* L.). Le p et le f étant phonétiquement voisins, on aboutit à l'hindoustani "*saunf*" (prononcer [sɔ̃f]), qui désigne à la fois le fenouil et l'anis, à l'hindoustani "*bari saunf*", au konkani "*bariśeph*". "*śata puśpa*" est aussi à l'origine d'un grand nombre de désignations de l'aneth (BADOC, 1986b), dont "*silan-beita*", qu'on retrouve dans "*silan*", un des termes désignant le fenouil en Afrique de l'Est (CUFODONTIS, 1959).

En Inde, le fenouil se dit aussi "*madhurica*", "*madhuriká*", "*mudhoorika*", "*mavuri*", etc..., termes qui proviennent probablement du sanscrit "*madhu*", qui signifie "doux" et doit faire allusion au goût sucré de fruits riches

en trans-anéthole. "Mudhoorika" nous semble proche de "panmuhooree", "pammahur" du sud de l'Inde et "panmuhuree" du Bangladesh, qui donnent leur nom à la variété "panmorium". Le cingalais "dewaduru" est peut-être aussi apparenté à "madhu".

f) Dénominations dérivées du persan

Le cumin (*Cuminum Cyminum* L.) a été confondu avec le fenouil en Iran. Le cumin et le "cumin noir" (*Nigella sativa* L.) correspondent aux termes "zire", "zira", "syâh", "rire", etc... en persan, "jîrâ", "zeera", "jeera" en hindi, "jintan", "jinten" en Indonésie, "yira" en Thaïlande; le japonais "sira" mentionné par les livres KWA-WI (1873) désigne probablement le cumin. Les dénominations suivantes nous semblent apparentées au nom persan du cumin:

- Ibn al-Baytar parle au 13^{ème} siècle de "râiziânadsch" (HEGI et al., 1926) et "zira" pourrait se retrouver à notre avis dans "ziâ". De nombreux termes voisins ont été reportés de la Bulgarie à l'Iran, en passant par la Turquie: "razia nedj", "razeeneja", "razianuj", "razaeanuj", "razainij", "raziijang", "rascenegi", "rejenigi", "raziyane", "raziane", "raz", "rezene", "rerene", etc... (BAUHIN et al., 1651; DORVAULT, 1948; STEINMETZ, 1957; FORBES ROYLE, 1970; FRIEDBERG, 1978; etc...). Il faudrait rechercher une éventuelle parenté pour "marzah" (Afghanistan) et "marze" (Iran).

- Le cumin "jeera" se retrouve dans les désignations dravidiennes du sud de l'Inde, comme le tamoul "perunjeeragam", "perunsîragam", "perunsfragum", etc... et le télougou "peddajilakara", "pedda gillakara" (SANTAPAU et HENRY, 1973; DORVAULT, 1948; etc...). Le fenouil est considéré comme un gros cumin.

- On appelle le fenouil "zala" au centre de Timor, île indonésienne (FRIEDBERG, 1978).

- Stuart propose en 1911 (d'après ROSENTHALER, 1913) que le chinois "shih-lo" provienne du persan "zila" ou "zira".

g) Désignations en Chine et au Japon

Les termes désignant en Chine l'aneth, "che lo", "ts'e meou le" ou "siao hoei hiang" (ROI, 1955) se retrouvent pour le fenouil: "shi-lo", "tzu-mo-lo" (Stuart, 1911, d'après ROSENTHALER, 1913) et "siao-hui", "hsiao-hui-hsiang", "siao hoei hiang", "hoei hiang", "houei-hiang",

"hoai hiang", "hui-hsiang", "hoei hiam", "hwai-hiang", etc... (HEGI et al., 1926; ROI, 1955; STEINMETZ, 1957; etc...). "Hoai" signifie "sein", et, d'après ROI (1955), on gardait les fruits sur la poitrine d'où on les retirait pour les mâcher. Le fenouil serait encore appelé "sin-tin" en Chine (HEGI et al., 1926).

"Hoai" ressemble à "ui" ou "kwai" et se retrouve à notre avis dans une série de termes japonais désignant l'anis ou le fenouil: "uikiyo", "ui-kyo", "uikyô", "uikyo", "ouïkioo", "uikjo", "taï oui keo", "kwaiko", "kvaiko", "koikjo", "koeko", etc... (THUNBERG, 1784; REIN, 1886; YABE, 1902; etc...).

Le fenouil et l'anis correspondent aussi à une autre série de dénominations japonaises: "kureno womo senrjo", "kouré no womo", "kure non womo", "kureno ommo", "kureno-omo", "kurensomo", etc... (livres KWA-WI, 1873; BOIS, 1927; HEGI et al., 1926; etc...). "Senrjo" est proche de "sen rio" (THUNBERG, 1784), qui désignerait aussi *Chloranthus brachystachys* Blume (livres KWA-WI, 1873).

h) Autres dénominations

α) Liées à une autre espèce

Le fenouil est confondu avec l'anis, l'aneth et le cumin. Ainsi les tamouls le confondent avec l'anis, "shombu" (SUNDARARAJ et al., 1963). On l'a appelé "anis" en Allemagne, "anason" en Yougoslavie, "dill" en Angleterre et en Allemagne. Mais on ajoute souvent un terme supplémentaire: en France on parlera d'anis ou d'aneth suivi de: "doux", "fenouil", "de Paris" ou "de France" (GERTH VAN WIJK, 1911; etc...).

β) Evoquant une propriété particulière

L'allemand "Brodsamen" indique qu'on utilise les fruits pour faire du pain (GERTH VAN WIJK, 1911), le latin "herba bona", l'espagnol "hierba santa" ou "herba dõce" font référence aux propriétés médicinales ou organoleptiques du fenouil, etc...

Le fenouil serait appelé "habite helacua" (éthymologiquement [graine ce qui provient du sucre]) dans l'extrême nord du Maroc (Tanger, Tétouan, Larache, Chaouen), alors qu'à Casablanca et à Rabat, on parle de "besbes" (obs. pers.).

γ) Désignations restant à étudier

Le fenouil est encore appelé "karafah" en Iran (STEINMETZ, 1957), "Tanassaout" par les berbères (BATTANDIER et TRABUT, 1902), "acksoum" en arabe (DORVAULT, 1948), "spingel" en anglais retrouvé dans l'allemand "Spiegelsaat" (GERTH VAN WIJK, 1911), "wariari" en Afrique de l'Est (HEGI et al., 1926), "canell" en breton (ROLLAND, 1967), "samouk-saba" en Birmanie, etc...

i) Dénominations des différentes sous-espèces et variétés

Nous n'exposerons que les principaux résultats obtenus à partir des données en notre disposition. L'interprétation est difficile du fait des confusions fréquentes entre les différents fenouils.

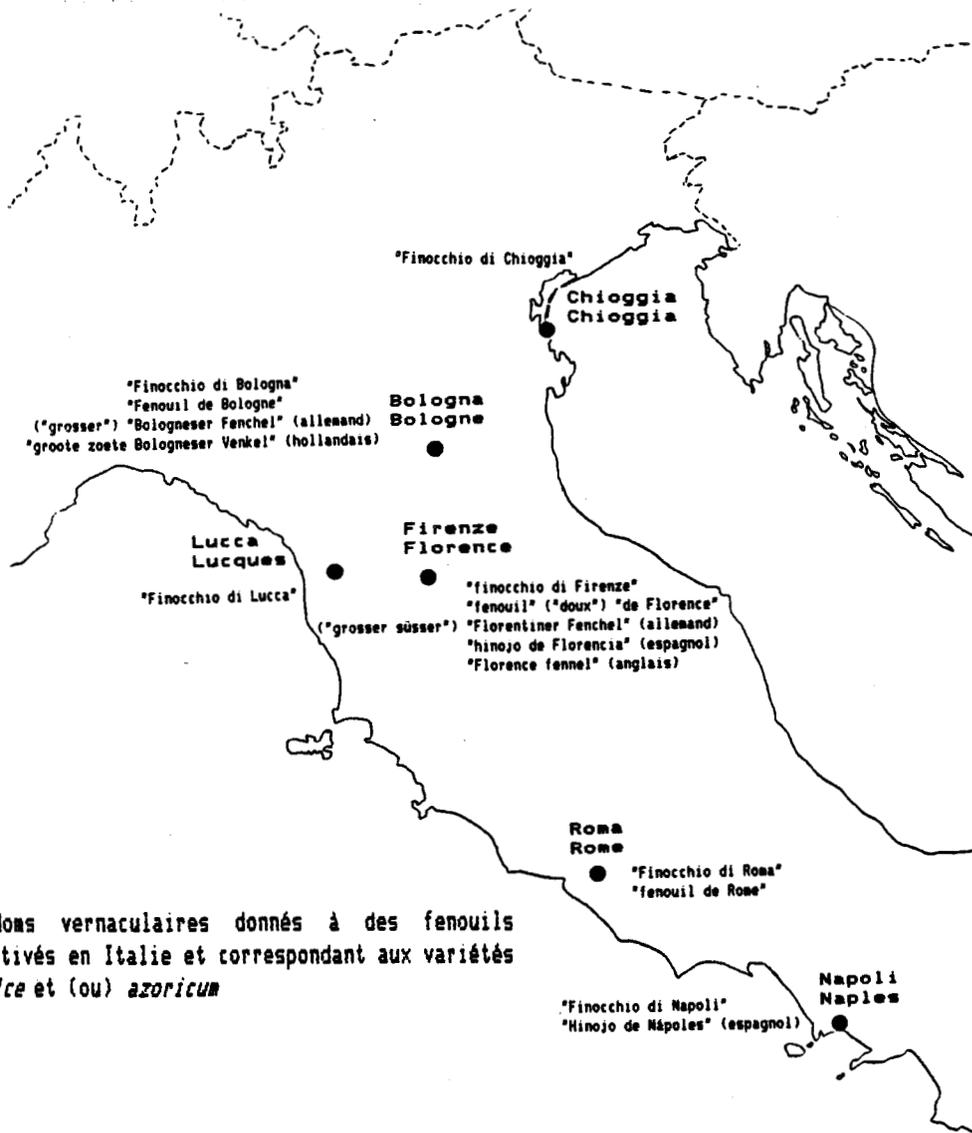


Figure 7: Noms vernaculaires donnés à des fenouils cultivés en Italie et correspondant aux variétés *dulce* et (ou) *azoricum*

Les désignations "Finocchio d'asino", "fenouil d'âne", "Eselsfenchel" semblent ne correspondre qu'à la sous-espèce *piperitum*, de même que l'allemand "Pfefferfenchel" et l'italien "finocchio arancino". Par contre, la sous-espèce *piperitum* est confondue avec la variété *vulgare* pour les termes du type "fenouil amer" et "fenouil sauvage".

Les variétés *dulce* et *azoricum* sont confondues sous les dénominations du type "fenouil doux", "fenouil sucré", "fenouil de Florence" et "anis de Paris". La provenance italienne est évidente dans l'anglais "finocchio".

Les désignations donnant des précisions géographiques sont les plus intéressantes: les villes ou régions indiquées ont toutes les chances de correspondre aux lieux à partir desquels les fenouils ont été dispersés. La variété *dulce* de France était réputée, si on en croit les désignations "anis de France", "finocchio francese", "franzosicher Fenchel". Les dénominations "fenouil d'Italie", "Italian fennel", "Italienischer Fenchel" s'appliquent surtout à la variété *azoricum*, alors que "finocchio romano", "fenouil romain", "römischer Fenchel", "roman fennel" répondent à la variété *dulce*. Le "fenouil de Malte" correspondrait à la variété *dulce*. En Italie, les villes de Chioggia, Bologne et Naples semblent liées à la culture de la variété *azoricum*, celle de Rome et probablement de Lucques à la variété *dulce* et celle de Florence aux 2 variétés (figure 7).

6) Conclusion

- Les interprétations doivent tenir compte de la difficile distinction entre les sous-espèces et variétés, de la fréquente confusion du fenouil avec l'aneth, l'anis et le cumin pour les noms vernaculaires, des nombreux échanges commerciaux de semences rendant complexe la compréhension de la migration des variétés.

- Les dénominations du fenouil correspondant aux langues indo-européennes ne permettent pas de penser que le fenouil ait pu faire partie du vocabulaire "proto-indo-européen", ce qui aurait impliqué son utilisation par l'homme au 4^{ème}-3^{ème} millénaire av. J.-C. à l'est de l'Europe (YOSHIDA, JUCQUOIS, 1972). Si on admet que *Foeniculum scoparium* Quézel, du Tibesti, est de souche méditerranéenne, une partie de la côte nord africaine pourrait appartenir à l'aire d'origine du fenouil. Cette dernière doit être incluse dans la région méditerranéenne, l'Afrique de l'Est et l'Asie occidentale, où les 2 sous-espèces semblent rencontrées à l'état sauvage.

Mais elle est sans-doute plus limitée, car le "fenouil d'âne" a pu être propagé par l'homme comme c'est le cas pour la sous-espèce vulgare. La présence du fenouil autour de l'Irak et en Afrique de l'Est n'est pas surprenante pour une espèce connue des Mésopotamiens et des anciens Egyptiens; ces derniers entretenaient des relations commerciales avec la Nubie et leurs expéditions maritimes au Moyen Empire (2000-1590) les ont menés jusqu'à la côte de la Somalie.

- Les noms vernaculaires du fenouil, dont l'éthymologie peut être expliquée à partir de la langue parlée dans une région donnée, signalent une présence ancienne. Ainsi, il est établi que le latin "*foeniculum*" viendrait du latin "*foenum*" [foin] et que les noms "madhurica" et "śata puśpa" proviennent du sanscrit. Le fenouil a donc probablement été utilisé par les premiers latins et serait présent en Inde de longue date. Si on admet que le terme chinois "hoai" [poitrine] se retrouve dans une série de désignations chinoises du fenouil, cette plante serait connue depuis longtemps en Chine.

- Les parentés entre les noms vernaculaires permettent d'envisager une propagation du fenouil:

- a) de l'Egypte vers le Maroc et la Syrie
- b) de la Grèce vers la France, voire les Pays de l'Est et la Russie
- c) de l'Empire Romain vers le reste de l'Europe
- d) de la Perse vers la Turquie, la Bulgarie, l'Inde, la Malaisie et la Chine
- e) de la Chine vers le Japon

Considérons de manière critique ces migrations possibles:

- a) Les Egyptiens ont eu des contacts avec l'Asie occidentale dès l'Ancien Empire (2815-2400). Au Moyen Empire (2000-1590), des expéditions ont été menées en Palestine, au Liban, en Syrie. Il n'est pas donc pas étonnant de rencontrer dans les pays à l'est de la Méditerranée des termes dérivés de "shamari hoout". Les désignations apparentées à "besbes", fréquentes au nord est de la côte africaine, posent plus de problèmes, car les anciens Egyptiens ne sont pas allés au delà de la Lybie et laissaient aux Phéniciens le soin de commercer à l'ouest de la Méditerranée.
- b) Il est intéressant de noter que les désignations latines de source grecque du fenouil ont eu peu d'impact, contrairement à celles de l'aneth, espèce d'origine probablement asiatique.

c) Toujours différemment de l'aneth, la quasi-totalité des noms germaniques du fenouil sont d'origine latine. Ce dernier n'était sans-doute pas connu des peuplades qui ont participé aux grandes invasions du 4^{ème} au 7^{ème} siècle apr. J.-C. . Les bénédictins ont assuré, au moyen-âge, l'expansion de sa culture en Europe. Au 10^{ème} et 11^{ème} siècle, l'institution monastique pénètre aux Pays-Bas, en Bohême, en Pologne, en Hongrie. A la fin du 12^{ème} siècle, le nombre de monastères dépassait 100 000 en Europe. A cette époque, de nombreux couvents sont construits en Scandinavie. Notons qu'il est encore fréquent en France de rencontrer le fenouil à l'état sauvage autour d'anciens monastères, bourgades moyen-âgeuses, forteresses et ruines de châteaux (CHASSAGNE, 1957).

d) Le fenouil pourrait avoir été propagé par les Perses avant les conquêtes d'Alexandre le Grand (334-323 av. J.-C.) et l'hellénisation qui a suivi. En effet, entre 566 et 486 av. J.-C., les Perses étendent leur empire jusqu'en Macédoine et Thrace au nord-ouest (Grèce, Bulgarie) et au delà de l'Indus au sud-est (Pakistan) et ils développent, sous le règne de Darius 1^{er} (521-486 av. J.-C.), le commerce maritime au nord de l'océan Indien. L'introduction en Chine du fenouil pourrait avoir eu lieu plus tardivement, par exemple au 1^{er} siècle apr. J.-C., lors d'échanges commerciaux par voie de terre.

e) Nous n'avons pu établir une parenté avec le chinois que pour une série de noms japonais. On ne peut donc écarter, dans l'immédiat, l'hypothèse d'une présence ancienne de cette plante au Japon.

- Le fenouil est actuellement répandu dans tous les continents et s'échappe des cultures quand le climat le permet, comme en Argentine, d'où il a peut-être migré vers le Brésil et l'Uruguay.

- Il semble que du fenouil ait été cultivé ou acheminé par les Açores, mais il ne s'agit pas à notre avis de la variété *azoricum*. Cette dernière pourrait avoir été sélectionnée, au plus tôt au 16^{ème} siècle, en Italie, particulièrement dans la région de Bologne.

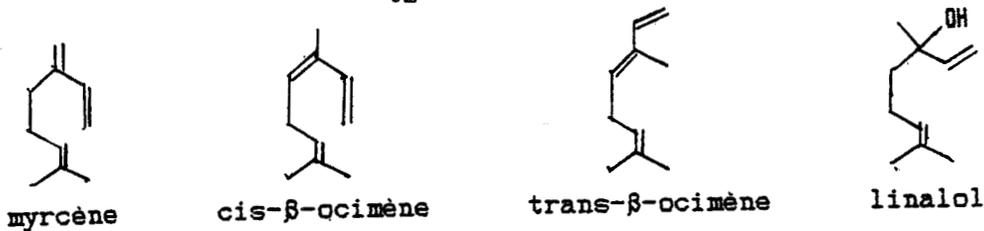
III CHIMIOTAXONOMIE DU FENOUIL

1) Introduction

Les distinctions chimiques figurant dans la littérature concernent principalement l'essence des fruits et nous ont conduit à analyser des lots de semences de diverses origines. Les différents constituants volatils des fruits appartiennent à 2 voies de biosynthèse distinctes: les phénylpropènes, dérivant de l'acide shikimique, surtout représentés par l'anéthole et l'estragole, et les terpènes, issus de l'acide mévalonique (voir LAMARTI, 1987). Le seul sesquiterpène signalé dans l'essence des fruits est le β -caryophyllène (SCHANTZ et JUVONEN, 1969), dont la présence à raison de 0.3 % nous paraît douteuse. Les principaux monoterpènes de l'essence des fruits sont acycliques (myrcène), monocycliques (α - et β -phellandrène, limonène, γ -terpinène, p-cymène) ou bicycliques (α - et β -pinène, camphène, sabinène, fenchone); leurs formules sont indiquées dans la figure 4.

Nous avons jugé utile d'établir la liste des facteurs susceptibles de modifier la composition, la teneur et le rendement en essence des semences, afin de préciser les limites d'interprétation des données bibliographiques et de nos résultats expérimentaux. Certaines différences de profil signalées pour les fruits se retrouvent pour les parties aériennes. En outre l'essence des racines du fenouil bulbeux paraît caractéristique.

Il est difficile de conclure sur l'intérêt taxonomique infraspécifique des autres composés chimiques, en raison du faible nombre de travaux comparant plusieurs origines entre elles et du manque fréquent de précision analytique. Néanmoins, il semble que l'étude des flavonosides soit prometteuse.



monoterpènes acycliques

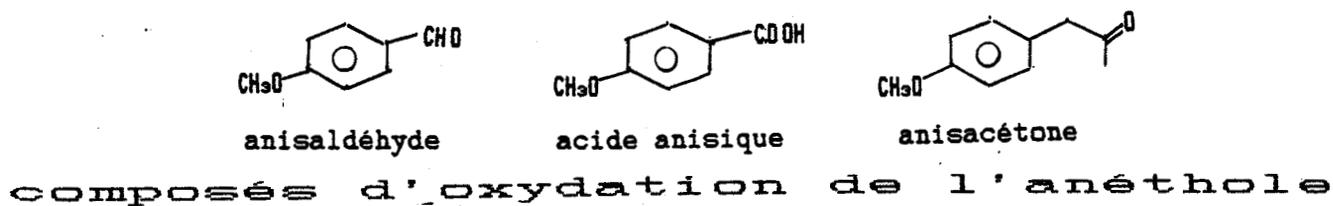
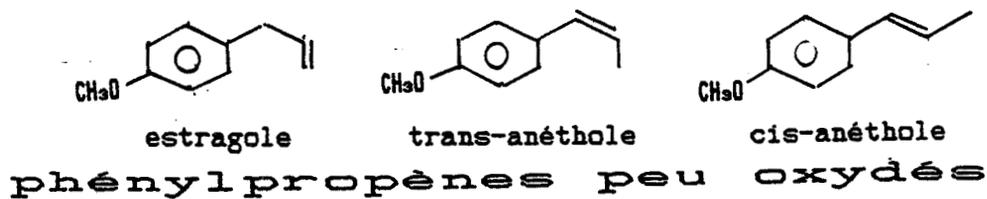
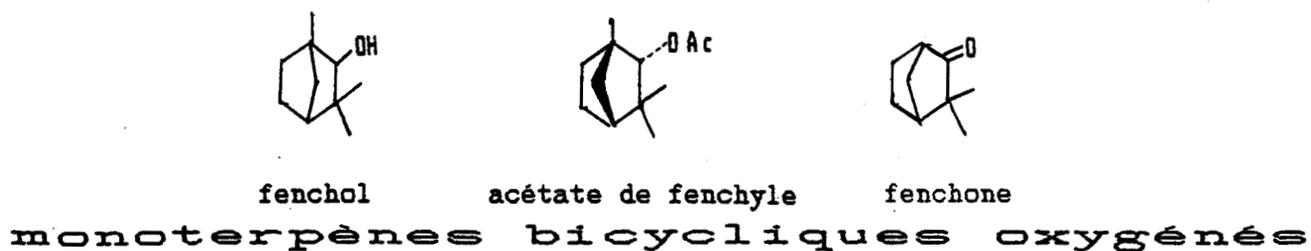
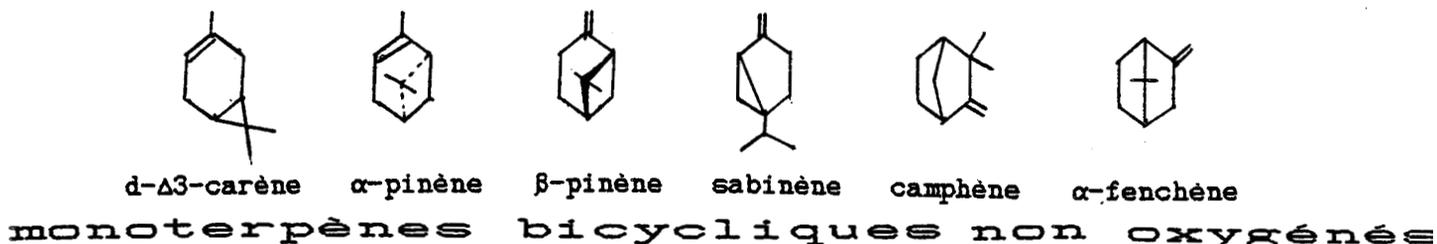
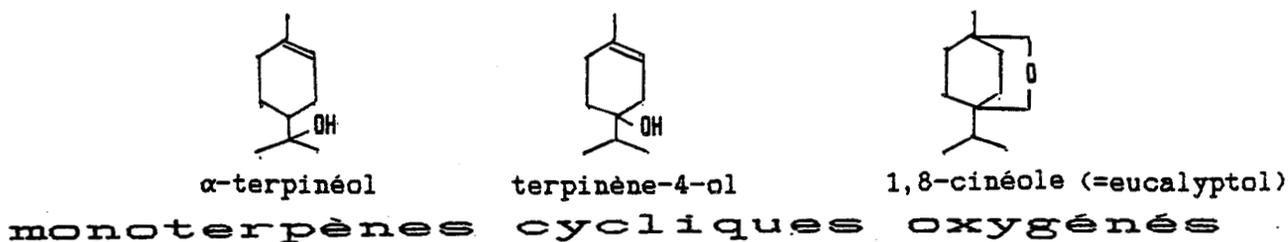
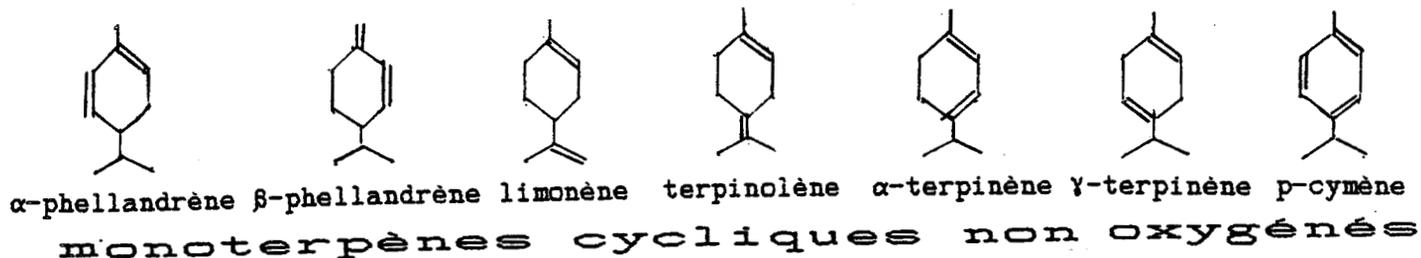


Figure 4. Formules de quelques composés signalés dans l'essence des fruits de fenouil.

2) Facteurs influençant les caractéristiques de l'essence des fruits

a) Degré de mûrissement

α) Profil

Le profil de l'essence des bourgeons floraux et des fleurs (TRENKLE, 1970) diffère de celui des fruits verts; ces derniers présenteraient des pourcentages plus élevés d' α et β -pinène, camphène, limonène et fenchone, et plus faibles de myrcène + α -phellandrène, β -phellandrène, estragole, voire de cis-ocimène et d'anéthole.

Plusieurs travaux (TÓTH, 1967b; KARLSEN et al., 1969; TRENKLE, 1970; RAVID et al., 1983; etc...) font part de modifications du profil de l'essence des fruits ou des ombelles fructifiées durant leur formation. On constate une tendance à la diminution des proportions d' α -pinène, d' α -phellandrène et de limonène et à l'augmentation de celle de trans-anéthole. Les pourcentages de fenchone et d'estragole sont variables: on a, par exemple, diminution de l'estragole avec le mûrissement pour des fruits d'Argentine (TÓTH, 1967b) et augmentation pour ceux d'un fenouil d'Allemagne de l'Est (TRENKLE, 1970).

TRENKLE (1970, 1972) explique de diverses manières la baisse des terpènes et l'augmentation des phénylpropènes lors du mûrissement. Il pourrait y avoir un changement d'équipement enzymatique, ou bien des précurseurs des phénylpropènes seraient utilisés, particulièrement pour les jeunes fruits, dans la synthèse de lignine et pour former les acides aminés aromatiques de l'albumen. Notons que TRENKLE (1970, 1971) a observé, lors du passage des bourgeons floraux aux fruits mûrs, une baisse de la teneur en acide caféique et une augmentation de celle en acide p-hydroxybenzoïque. Cet auteur considère aussi la volatilité importante des terpènes, leur intervention possible dans les échanges énergétiques et leur concurrence vis-à-vis de la synthèse des acides gras pour l'acétyl-coenzyme A.

β) Teneur

Selon de nombreux auteurs (Obuchow et Kondrazki, 1946, d'après GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961; GLEISBERG et HARTROTT, 1953, 1960; EL-HAMIDI et AHMED, 1966; TÓTH, 1967b; TRENKLE, 1970; S.N.P.P.M., 1974; etc...), les fruits ou les ombelles fructifiées immatures renfermeraient plus d'essence, rapportée au poids de matière sèche, que si le mûrissement était complet. Le maximum pourrait correspondre au stade laiteux. La teneur

augmenterait à nouveau légèrement dans les fruits bruns (GLEISBERG et HARTROTT, 1960).

Cependant, TSVETKOV (1970) trouve une faible teneur pour les ombelles de "deuxième ordre", pourtant moins mûres que l'ombelle primordiale et les ombelles de "premier ordre". On pourra objecter que ses analyses ont eu lieu 2-2.5 mois après la récolte. Mais RAVID et al. (1983) trouvent aussi moins d'essence dans les ombelles non mûres en début et fin de fructification.

GLEISBERG et HARTROTT (1960) et DECHEVA et TSVETKOV (1970) se sont engagés dans l'étude des cinétiques de divers constituants au cours de la croissance des fruits. Les teneurs nous paraissent plus facilement interprétables quand elles sont rapportées au nombre de fruits: des jeunes fruits aux fruits gris-vert, on observe une augmentation de matière fraîche, de matière sèche, d'essence, d'huile grasse et de protéines; puis, les fruits devenant bruns, la matière fraîche et les monosaccharides diminuent, alors qu'amidon, protéines, matière sèche, essence et surtout lipides continuent à augmenter. L'augmentation étant, proportionnellement, plus importante pour l'essence que pour le poids de matière sèche, on comprend que l'essence, exprimée par rapport au poids de matière sèche, augmente à nouveau dans les fruits bruns. Les quantités d'essence, de protéines et de lipides sont multipliées, respectivement, par environ 3, 5 et 22 dans les fruits passant du vert au brun (GLEISBERG et HARTROTT, 1960).

b) Pratiques culturales

- EL-GENGAIHI et ABDALLAH (1978) n'observent pas de modification de la teneur en essence pour des semis effectués le 30/9 et 15 et 30 jours plus tard.

- Lorsqu'elles ne sont pas trop élevées ou trop faibles, les densités de peuplement semblent conduire à des différences non significatives ou peu marquées de la teneur en essence (ABDEL-AL et al., 1973; EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978; RANDHAWA et GILL, 1985; etc...).

- Les données concernant l'influence de l'amendement sont difficiles à interpréter (WEICHAN, 1948; ABDEL-AL et al., 1973; ABDALLAH et al., 1978; RANDHAWA et GILL, 1985; etc...). Selon la richesse préalable du sol, il semble qu'un apport d'azote puisse entraîner une augmentation ou une baisse de teneur en essence.

- Il faut encore considérer l'impact des mauvaises herbes et de l'irrigation.

c) Influence du climat

Suite à l'analyse de 3 lots de fenouils amers, TARDY (1902a) propose une plus grande richesse en estragole et terpènes accompagnée d'une diminution de fenchone dans les régions chaudes. Ces hypothèses n'ont pas été confirmées par les travaux ultérieurs. Un fenouil cultivé à la Réunion (CONAN, 1977), à 750 m d'altitude, présente cependant un faible pourcentage de fenchone.

TÓTH (1967b) n'a pas observé de variation du profil de l'essence des fruits de fenouils cultivés à Karlsruhe pendant 4 ans, malgré des conditions climatiques différentes: des fruits de fenouils d'Inde, de Chine, du Japon, d'Argentine et de Bulgarie cultivés à Karlsruhe ont conservé le profil de l'essence des semences d'origine, mais ont présenté une teneur inférieure.

CHINGOVA (1967) observe aussi, pour des fenouils de diverses origines cultivés en un même lieu, des quantités d'essence différentes d'une année sur l'autre: ainsi, la teneur d'un de ces fenouils était de 3.01 g par 100 g de fruits secs en 1959 et de seulement 0.98 g en 1961.

JOSHI et al. (1963) obtiennent, en Inde, une teneur supérieure à haute altitude. PENEVA et al. (1977) déconseillent la culture du fenouil au dessus de 600 mètres en Bulgarie. Les hautes températures n'occasionneraient, d'après HOTIN (1968), que de faibles changements pour l'essence des fruits lors du mûrissement. Peu de pluie et beaucoup de soleil favoriseraient l'accumulation d'essence pendant le développement des fruits (PENEVA et al., 1977). Le degré hygrométrique pourrait, de plus, agir sur l'ouverture et la fermeture des stomates, entraînant ainsi une modification de l'environnement gazeux susceptible d'influer sur la teneur et la composition de l'essence (voir LAMARTI, 1987).

d) Période de récolte

On a rapporté (S.N.P.P.M., 1974) 0.7 % d'essence à 80 % d'anéthole pour des ombelles récoltées dans la matinée et 1.1 % d'essence à 60 % d'anéthole pour des ombelles récoltées dans l'après-midi. De plus, des variations de composition et de teneur de l'essence des fruits en fonction de l'heure de récolte sont connues pour la carotte et l'aneth (ZLATEV, 1976). LAMARTI (1987) a montré que la teneur en essence des plantules d'un fenouil amer augmente pendant la phase diurne et décroît pendant la phase nocturne.

e) Stockage des fruits

α) Teneur

En 1936 KOFLER constate, au bout de 7 mois de stockage des fruits, une augmentation de 7.5-39.5 % d'essence pour une perte de poids de 1.5(1.6)-3 %. Mais GLEISBERG et HARTROTT (1953) notent une légère diminution non significative d'essence au cours d'un stockage de près d'une année des fruits de 4 lots de fenouils. Ces mêmes auteurs (1960) ont également obtenu une nette diminution d'essence après 4 semaines de stockage de fruits bruns. TÓTH (1967b) constate une perte de 28 % d'essence en 2 ans de stockage à température ambiante à l'obscurité dans des sachets en papier. La perte est de 8-10 % en 20 mois dans des sacs en polyéthylène d'après TRENKLE (1970) et de 4.3-37.5 % en 14-44 mois pour 7 échantillons de fruits analysés par FEHR (1980); ce dernier auteur n'observe pas de corrélation entre la diminution d'essence et le nombre de mois de stockage, mais les échantillons n'étaient pas de taille et de maturité homogènes. BETTS (1968b) constate une petite baisse de teneur en trans-anéthole lors du séchage de fruits dans des sacs en polyéthylène épais. Deux lots de 300 kg ont été analysés pour la teneur en anéthole à la récolte, au bout d'1 mois, 2 mois et 1 an. Il n'a été observé une perte (22 %) que dans le dernier cas (S.N.P.P.M., 1975).

Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer l'augmentation ou la diminution d'essence au cours du stockage des fruits du fenouil. GLEISBERG et HARTROTT (1960) considèrent que la maturité physiologique est effective quand le poids frais de 1000 fruits ne baisse plus et devient constant. Les fruits ont alors atteint leur taille maximale et sont bruns. Selon que la récolte a lieu avant ou après ce point critique, on a une augmentation ou

une diminution d'essence. STEINER et HOCHHAUSEN (1954) ont étudié l'action d'une atmosphère d'azote et d'oxygène humides pendant 3-4 jours sur la teneur en essence de fruits d'1 ou 2 ans et observent une augmentation d'essence plus importante pour l'azote humide. Ces auteurs pensent qu'une certaine teneur en eau occasionne la reprise d'une activité enzymatique. Mais une humidité et une température élevées favorisent le développement des moisissures (SHARMA et SHARMA, 1984). La fermentation peut faire chuter de 60 % la teneur en anéthole durant 24 heures d'ensilage (DESMAREST, 1988, comm. pers.); l'humidité due à l'évaporation se superpose à la formation d'eau catabolique provenant des réactions de fermentation.

Au cours de la maturation ou du stockage, on peut envisager une dégénérescence des structures des cellules sécrétrices, entraînant une élimination de l'effet de compartimentation, d'où un contact enzyme-substrat favorisé et une augmentation d'essence possible (voir LAMARTI, 1987).

Comparées aux risques de fermentation, les pertes par évaporation sont négligeables (DESMAREST, 1988, comm. pers.), d'autant que plusieurs modifications histologiques au cours du mûrissement et du vieillissement permettent de diminuer le départ des composés volatils:

- lignification des cellules parenchymateuses du péricarpe, en particulier autour des *vittae*.
- fonctionnement d'un méristème aboutissant à la formation, fréquente chez les Umbellifères, d'1-3 couches de cellules subérisées, aplaties, brunes, autour des bandelettes (PLANCHON, 1875, 1: 315; MEYER, 1889; etc...); GAUTHERET (1983, comm. pers.) a observé une telle formation pour les fruits du fenouil en cours de mûrissement, surtout sur le côté faisant face à l'épicarpe. Les cellules subérisées pourraient restreindre l'évaporation des composés volatils et protéger les tissus voisins d'une éventuelle pénétration d'essence (ROTH, 1977). Le fonctionnement méristématique pourrait, à notre avis, être une réaction protectrice similaire à celle observée en cas de blessure, suite à l'éventuelle proximité d'essence libérée par dégénérescence des cellules sécrétrices.
- cloisonnement des bandelettes, qui, en dehors d'un éventuel rôle de soutien (FERNANDES COSTA et al., 1959), éviterait des pertes importantes en cas de déchirure (MEYER, 1889).

β) Profil

TóTH (1967b) a étudié la composition de la phase gazeuse au dessus de fruits de fenouil en système fermé. Par rapport au distillat à la vapeur d'eau, il trouve, pour une température de 25 °C, plus d' α -pinène (20.3 contre 3.8 %), de limonène (7.2 contre 2.0 %), de fenchone (34.7 contre 16.1 %) et moins d'anéthole (20.3 contre 71.3 %). Si une perte d'essence a lieu par évaporation, il devrait donc y avoir modification du profil. Mais, pour FEHR (1980), la composition de l'essence n'est apparemment pas modifiée avec le stockage, et TóTH (1967b) observe peu de variation au bout de 2 ans; ce dernier auteur constate à 2, 3 et 10 mois de stockage des fruits une diminution du pourcentage de fenchone et une augmentation de ceux d'estragole et d'anéthole. De vieux spécimens analysés par BETTS (1968b) présentent jusqu'à 30.4 % d'anisaldéhyde, produit d'oxydation bien connu de l'anéthole. TRENKLE (1970) trouve après 3 ans de stockage plus d' α -pinène (7.0 contre 4.3 %) et d'anisaldéhyde (0.5 contre 0.04 %) dans des fruits allemands. L'acide anisique et l'anisacétone (fig. 4) sont 2 autres produits d'oxydation de l'anéthole trouvés dans l'essence des fruits.

f) Mode d'extraction

α) Distillation

La distillation est une technique habituellement employée dans l'industrie. Il en existe de 3 types (GUENTHER, 1948):

- distillation à l'eau ou "hydrodistillation"; le matériel végétal est en contact direct avec l'eau bouillante de l'alambic.
- distillation à l'eau et à la vapeur; l'échantillon est séparé de l'eau bouillante de l'alambic par une grille, un tamis, etc...
- distillation à la vapeur; on n'a plus d'eau dans l'alambic, mais la vapeur humide souvent surchauffée et sous pression est fournie par un générateur séparé.

En laboratoire, plusieurs appareillages assurent la condensation, pas toujours aisée, et le dosage volumétrique de l'essence, souvent reprise par un solvant (GRAAFF, 1931; GLEISBERG et HARTROTT, 1953; STAHL et FUCHS, 1968; MERKES, 1980; etc...).

Les fruits doivent être préalablement broyés finement pour permettre la libération de l'essence des bandelettes. FLÜCK et KAST (1965) ont comparé

la division à l'aide de moulins ou d'un mortier et constatent une perte par évaporation, favorisée par une circulation d'air et par l'augmentation de température due aux chocs et aux frottements. La perte concerne principalement les composés les plus volatils, à faible point d'ébullition; ces auteurs n'observent pas de modification en atmosphère d'oxygène ou d'azote, ni d'oxydation de l'anéthole. De même, TóTH (1967a) trouve pour des fruits moulus une baisse de tous les terpènes, mis à part la fenchone. Les pertes pourraient être évitées par l'emploi d'azote ou de gaz carbonique liquéfié (FLÜCK et KAST, 1965; RAVID et al., 1983; etc...).

Mais GLEISBERG et HARTROTT (1953) obtiennent plus d'essence pour une distillation de 5 heures à l'eau et à la vapeur de fruits entiers, car les fruits découpés donnent plus facilement une bouillie, d'où un passage irrégulier de la vapeur d'eau.

Si les fruits ne sont pas finement broyés, les constituants quittent le matériel végétal selon leur degré de solubilité dans l'eau, et non en fonction de leur point d'ébullition (RECHENBERG, 1910; FEHR, 1982; etc...). Le trans-anéthole sera distillé avant la fenchone et le limonène. L'extraction n'est jamais totale car les dernières traces d'essence sont retenues par les lipides non volatils (GUENTHER, 1948; etc...).

Outre une variation du profil possible en fonction du temps de distillation, il faut encore envisager l'effet de la température. KOEDAM et al. (1979) ont montré lors de la distillation à l'eau de fruits d'aneth un effet du pH, de l'activité catalytique des métaux, voire des enzymes.

β) Solvants

En laboratoire l'extraction des fruits de fenouil a été fréquemment réalisée avec des solvants tels que pentane, hexane, dichlorométhane, éther de pétrole, éther ou éthanol. Elle a lieu par simple contact avec le solvant, par exemple dans un mortier ou bien par contacts multiples et répétés. Elle peut être suivie d'une concentration.

Les fruits doivent être broyés finement, mais une perte des composés les plus volatils est à craindre si on opère à température ambiante. Une extraction rapide à basse température ne présente pas les nombreux inconvénients de la distillation.

Les pourcentages d'extraction obtenus par BECKER et al. (1940) pour 5 solvants sont d'autant plus importants que le solvant est hydrophile. Par

ailleurs, d'autres composés, qui peuvent être gênants en chromatographie sur couche mince (STAHL et FUCHS, 1968), seraient extraits: acides gras, coumarines, pigments, saponosides, etc...

γ) Volatilisation directe de l'essence

Pour éviter les inconvénients des méthodes précédentes, on a pensé analyser directement le matériel végétal par chromatographie. Ainsi un procédé thermique de microextraction, de transfert et de dépôt sur plaque pour la chromatographie sur couche mince a été mis au point en Allemagne (STAHL et FUCHS, 1968; STAHL et HERTING, 1976; etc...). De même les constituants de l'essence peuvent être volatilisés à 1000 °C (HÉTHELYI et TÉTÉNYI, 1979) ou seulement 200 °C (KARLSEN et al., 1969) avant l'entrée dans la colonne d'un chromatographe en phase gazeuse. Mais la volatilisation à 200 °C n'est complète que si les fruits sont finement divisés et on retrouve les problèmes de perte des composés les plus volatils à moins d'effectuer le broyage à basse température.

g) Stockage de l'essence

A l'air libre, à la lumière et à température ambiante, les pertes par évaporation sont importantes et il se forme du p-cymène, de l'anisaldéhyde, de l'acétaldéhyde, de l'acide anisique, de l'anisacétone, de la p-méthoxypropiophénone et, probablement encore, de l'hydrate de terpène-1,8, du p-méthoxy,1-phényl,1-propanol, etc... (SCHIMMEL et C¹, 1904; PEYRON et al., 1969; KRAUS et HAMMERSCHMIDT, 1980; etc...). Un bouchon de liège recouvert d'une feuille d'aluminium ne semble pas assurer une bonne étanchéité et conduit à une perte d'essence à température ambiante et à 4 °C (TÓTH, 1967b). Par contre, RAVID et al. (1983) ne constatent pas de changement de composition après 6 mois à 2-6 °C à l'obscurité sous atmosphère de CO₂. TRENKLE (1970) n'observe pas de modification pour un stockage de 1-2 mois avec un bouchon en polyéthylène à l'obscurité vers -19 °C. Les changements sont insignifiants après stockage dans des tubes scellés à température ambiante, à la lumière, que l'atmosphère soit inerte ou non (TÓTH, 1967b; KRAUS et HAMMERSCHMIDT, 1980).

Il faut considérer l'évaporation, l'action de la lumière et de l'oxygène de l'air: les terpènes donnent très facilement naissance à des

hydroperoxydes qui se décomposent et amorcent des réactions radicalaires en chaîne, qui peuvent alors toucher des composés moins sensibles comme l'anéthole (SCHANTZ et JUVONEN, 1969; KRAUS et HAMMERSCHMIDT, 1980; etc...). L'oxygène allié au rayonnement ultra-violet conduit à l'isomérisation du trans-anéthole en cis-anéthole (TABACCHI et al., 1974; LAMARTI, 1987; etc...); il se formerait des composés polymères dont on a proposé diverses structures (SCHANTZ et JUVONEN, 1969; TABACCHI et al., 1974; etc...). L'oxydation peut être activée par des impuretés comme les ions ferreux et ferriques (JANECKE et NIKLASCH-HENNIG, 1961).

h) Méthode d'analyse

Avant le développement des techniques chromatographiques, on utilisait fréquemment les caractères organoleptiques et les propriétés physiques des essences, comme densité, indice de réfraction et pouvoir rotatoire, qui varient avec la température et ont été mesurés entre 15 et 37 °C. La distillation fractionnée séparait mal les constituants et leur détermination chimique était grossière.

La chromatographie sur couche mince ne permet pas de distinguer en même temps tous les composés; le trans-anéthole et l'estragole migrent de la même manière sur les plaques de gel de silice, à moins de les imprégner de nitrate d'argent; l'anéthole serait en partie décomposé en anisaldéhyde lors du dépôt (BETTS, 1968a); les taches correspondant aux terpènes seraient très inconstantes (HERISSET et al., 1972).

La chromatographie sur colonne a été surtout utilisée pour permettre une séparation préalable, en particulier des composés oxygénés.

La chromatographie en phase gazeuse est largement utilisée. Les résultats sont plus précis et les pics mieux séparés avec une colonne longue et capillaire. La présence de centres acides, d'impuretés métalliques dans les phases stationnaire ou liquide facilite une déshydratation des terpènes hydroxylés et une isomérisation à haute température de terpènes comme l' α - et le β -pinène, le sabinène et le γ -terpinène (BURCHFIELD et STORRS, 1962; SCHEFFER et al., 1976). On utilise généralement une phase stationnaire purifiée et désactivée. La phase liquide est souvent du "carbowax", un polyéthylène glycol qui désactiverait les éventuels sites acides par liaisons hydrogène.

1) Mode de calcul et expression des résultats

Les composés peuvent être comparés à l'un d'entre eux; mais on indique plutôt le pourcentage de chaque constituant, généralement estimé par la surface de son pic rapportée à la somme des surfaces de tous les pics visibles sur le chromatogramme. Les calculs manquent de précision et de reproductibilité en l'absence d'intégrateur. Les conditions opératoires peuvent ne pas permettre la sortie des composés de poids moléculaire élevé. Les auteurs négligent de prendre en compte le coefficient de réponse que chaque constituant présente vis-à-vis du détecteur (ionisation de flamme ou conductibilité thermique). On utilise souvent un étalon interne dont on fixe le coefficient à 1. Les valeurs des coefficients fournies par la littérature se recourent mal.

La teneur en essence, donnée en volume ou en poids et les résultats quantitatifs sont souvent rapportés à 100 grammes de matière fraîche ou sèche. Mais la teneur en eau des fruits est variable et le mode de calcul du poids de matière sèche diffère selon les auteurs. Ce poids peut varier avec la division plus ou moins fine du matériel végétal ainsi qu'avec le temps et la température de séchage. Ainsi, GLEISBERG et HARTROTT (1960) observent une perte de poids de matière sèche à 105 °C nettement inférieure pour les fruits entiers comparée aux fruits broyés. Les résultats peuvent encore être exprimés par rapport à un nombre de fruits, mais il n'est alors pas toujours précisé s'il s'agit d'akènes ou de diakènes.

3) Essence des fruits

a) Profil

Dès la fin du 19^{ème} siècle, l'analyse de l'essence des fruits de fenouils de plusieurs origines mettait en évidence des différences de profil: selon SCHIMMEL et C^{ie} (1893), certaines origines, non précisées, seraient dénuées de phellandrène, de fenchone ou d'anéthole. UMNEY (1896, 1897) distingue le fenouil doux de France par l'absence presque totale de fenchone dans l'essence des fruits, riches de surcroît en phellandrène comme les fruits d'Inde et contrairement à ceux du Japon. TARDY (1897, 1902a, b) observe plus de fenchone et moins d'estragole pour un fenouil amer de Galicie (Pologne) comparé à un autre d'Algérie, un échantillon du sud de la France ayant des teneurs intermédiaires; etc...

Mais la chémotaxonomie de l'essence des fruits du fenouil n'est abordée sérieusement qu'à partir des travaux de TóTH (1967a,b), qui observe des différences nettes entre diverses origines pour α -pinène, limonène, fenchone et estragole (tab. 4): la variété *dulce* aurait nettement plus de limonène et de trans-anéthole mais moins d' α -pinène et de fenchone que la variété *vulgare*. Les fenouils d'Inde, d'Italie du sud et de Chine auraient eux aussi plus de limonène et moins d' α -pinène mais se distingueraient du fenouil doux par un fort taux de fenchone. Les échantillons d'Espagne, d'Argentine et de Tchécoslovaquie possèdent peu de limonène, et beaucoup d' α -pinène et de fenchone, comme ceux de la variété *vulgare*; ils s'en éloignent par un pourcentage plus élevé d'estragole. De plus, TóTH (1967b), sur 49 échantillons appartenant à la variété *vulgare*, a observé une répartition bimodale de l' α -pinène, les plus hautes teneurs correspondant à des fenouils de Pologne et d'Allemagne.

variété	<i>vulgare</i>			<i>panmorium</i>		<i>azoricum</i>	<i>dulce</i>		
origine	Espagne	Argentine	Tchécoslovaquie	Japon	Inde	Chine	Italie du Sud		
nombre d'échantillons	1	1	1	49	2	2	2	12	
α -pinène	1,2	0,8	2,1	1,8- 2,7- 4,7	1,6	1,0	0,9	0,8	0,4- 0,6- 0,8
camphène	0,3	0,2	0,3	0,3- 0,3- 0,5		0,3	0,3	0,1	traces
β -pin.+myrcène	2,6	0,9	1,2	0,9- 1,2- 1,5		0,7	0,6	0,8	0,4- 0,5- 0,6
α -phellandrène	0,8	0,4	0,4	0,2- 0,4- 0,5		0,2	0,2	0,2	traces
limonène	2,3	1,4	1,9	1,5- 2,1- 2,5	1,3	7,8	6,8	5,1	4,2- 4,6- 5,4
p-cymène	0,3	0,2	0,3	0,2- 0,4- 0,5		0,5	1,1	0,3	0,3- 0,4- 0,5
fenchone	13,8	6,8	13,5	12,3-14,6-22,2	7,7	13,2	7,7	7,6	0,4- 0,6- 0,8
estragole	12,5	11,8	11,1	2,3- 3,5- 4,9		4,0	3,5	3,1	3,4- 4,6- 8,1
trans-anéthole	62,5	76,5	68,1	61,6-72,8-78,3	82,8	71,6	75,0	81,7	84,1-88,0-89,8

Tableau 4 : Pourcentages de quelques constituants de l'essence de fruits de fenouils de diverses origines analysés par TóTH (1967a).

origine et remarques	mode opératoire	pourcentages de				auteurs	année
		fenchone	estragole	cis- anéthole	trans- anéthole		
" <i>F. piperitum</i> D.C."	dv chimie	+	+		0	PELLINI	1923
Yougoslavie, cultivé		22,4	20,6	<0,1	50,5	NAVES et TUCAKOV	1959
Broadstairs, falaises, Kent	h CP6	14	86		0	BETTS	1968a
Jardin Bot. d'Istanbul	idem	16	84		T	idem	
non précisée	idem	15	79		T	idem	
Ooty, État de Madras, Inde	dv, h CCM+CC		+		0	SHAH et al.	1969, 1970
Australie Ouest, sauvage	CP6 directe	9	65		20	BETTS	1976
Australie Ouest, sauvage	idem	18	57		7	idem	
Australie Ouest, 1 pied	idem	19	57		16	idem	
Australie Ouest, 1 pied	idem	22	54		13	idem	
doux	minimum	22,8	31,8		16,4	HÉTHELYI et T.	1979
	maximum	29,1	37,5		31,1	idem	

Tableau 5 : Profils de l'essence, riche en estragole, de fruits de fenouils de diverses origines trouvés dans la littérature.
 CP6, CCM, CC: chromatographie en phase gazeuse, sur couche mince, sur colonne
 dv: distillation à la vapeur d'eau
 h: extraction par le n-hexane

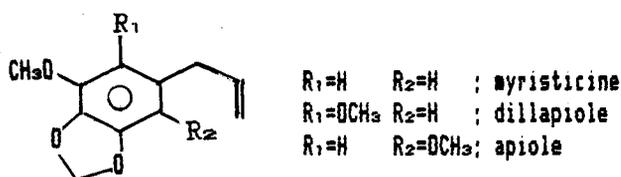
BETTS (1968b) propose une classification reposant sur les pourcentages d'anéthole et de fenchone. Il confirme l'existence de fenouils avec une essence de fruits pauvre en anéthole et présentant comme principal constituant l'estragole (PELLINI, 1923); plusieurs autres travaux mentionnent des fruits de fenouils riches en estragole (tab. 5). BETTS trouve respectivement pour les variétés *vulgare* et *dulce* 30 et 10 % de fenchone et 60 et 80 % de trans-anéthole; il interprète les faibles pourcentages de fenchone observés par TÓTH pour la variété *vulgare* comme correspondant soit à un autre groupe de fenouil amer, soit à une perte préférentielle de ce composé pendant l'analyse. Au cours de la maturation des fruits, la teneur en fenchone, rapportée à 100 akènes, reste supérieure pour le fenouil amer comparé au fenouil doux (BETTS, 1968a,b). KARLSEN et al. (1969) observent des lignées sélectionnées riches en fenchone de fenouil doux; la quantité de ce terpène est néanmoins toujours inférieure à celle rencontrée chez la variété *vulgare*. Le pourcentage de ce composé semble néanmoins très variable (tab. 6). Ainsi TRENKLE (1970) observe plus de fenchone que TÓTH pour des fenouils amers d'Allemagne de l'Est et de Roumanie. Ce composé atteindrait 26.2 % pour un fenouil dit doux (HÉTHELYI et TÉTÉNYI, 1979).

origine, variété	α -pinène	camphène	β -pinène	myrcène	α -phellandréne	limonène	β -phellandréne	γ -terpinène	fenchone	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	auteurs	année
non précisée	6,5	0,1	0,6	0,4	0,4	0,6	0,3	0,3	≈9,7	≈1,1	≈78,8	-	PAUKOV et al.	1968
Roumanie, cultivé	7,0	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	<0,5	1,5	24,0	6,5	52,5	-	KRAUS et	1980
Roumanie, cultivé	3,5	0,5	0,2	1,0	0,5	1,5	<1,0	1,0	15,5	5,5	67,5	+	HAMMERSCHMIDT	
essence de Pologne	4,3	0,3	0,4	0,8	0,3	2,2	0,6	1,0	21,7	0,4	63,3	0,9	BUKALA et al.	1968
vulgare	2,6			0,8	0,2	1,4	<0,4	0,6	20,1	5,3	66,6	0,2	FEHR	1980
essence de Pologne	<8,2		<0,9			<4,5	<4,5		<8,9	<6,2	>57	<9	DERYNG et al.	1967
Bulgarie, cultivé, <i>vulgare</i>	<4,9	<0,3	+	<1,2	+	<2,8	<0,6	<0,4	>16,8	>2,6	>69		KARLSEN et al.	1969
Réunion, cultivé	6,3		+		+	4,0		+	0,1	0,8	92,1	0,1	CONAN	1977
"C 25", <i>vulgare</i>	3,3	0,2	0,1	<1,3	+	<2,2	+	0,4	15,4	2,6	73,4	0	LAMARTI	1987
Allemagne E., <i>vulgare</i>	4,3	0,5	0,4	1,7	0,9	3,1	1,0	1,7	21,4	4,9	57,0	+	TRENKLE	1970, 1972
doux	3,7	0,2	0,5	1,0	1,1	3,5		1,1	12,9	2,8	68,6	0,2	CHOU	1973
Argentine, cultivé	1,4		0,3	1,3		1,4			10,5	12,0	72,0	0,5	ROZAS DE V. et al.	1981
Pakistan, cultivé	3,0	0,7			0,4	4,6			10,2	3,5	74,9	1,8	ASHRAF et al.	1975
non précisée	1,2	0,2	0,2	0,7	0,3	2,5		2,0	1,7	3,3	84,3	1,2	FUJITA et al.	1980
essence du commerce	1,6	+	<0,7		1,6	4,8	+		4,3	1,7	83,8	1,5	KÜCHLER	1964
Europe	2,9		0,8		-	9,2			+	-	82,8		ISHIBASHI et al.	1967
commerce, doux	2,0	0,1	<0,7	<2,4		<7,2		0,1	3,4	0,7	80,7	+	TABACCHI et al.	1974
non précisée	0,8	0,4	<0,8		-	3,9	+		1,2	5,2	86,1	1,7	KÜCHLER	1964
amer	3,1	0,1	0,6	4,5	11,1	15,7		<0,4	24,3	2,1	34,8	+	LAWRENCE	1980
Bulgarie, <i>dulce</i>	≈1	+		+	-	≈7			≈2	≈6	≈78	+	VLADOV et al.	1964
8 provinces minimum	0,5	-	-	-	-	4,2		0,9	1,1	3,3	75,7	-	AKGÜL	1986
de Turquie moyenne	0,8	+	+	0,2	0,2	6,2		0,6	2,0	4,1	82,4	0,8	idem	
cultivé, <i>dulce</i> maximum	1,1	0,1	0,1	0,9	0,4	9,2		1,6	2,8	5,2	86,5	3,7	idem	
essence de fenouil amer	0,5					<4,5			17,9	3,9	69,0	-	WELLENFORD	1963
non précisée	1,2	0,2	0,4	1,3		<16,3	+	0,3	3,5	3,0	64,4	0,6	SCHANTZ et J.	1969
commerce, <i>dulce</i> , ombelle	0,3	+	+	<0,1	<0,1	4,1		0,2	6,4	3,8	84,4	+	RAVID et al.	1983
Europe	1,1		1,1		+	17,0			+	-	66,5		ISHIBASHI et al.	1967
<i>dulce</i> , non mûr	0,5	0	0,2	0,8	0,2	8,3		1,0	10,8	5,0	68,9		EMBONG et al.	1977
cultivé, <i>dulce</i>	<0,3	+	+	<0,3	<0,1	<5	<0,2	<0,9	>2	>4	>84		KARLSEN et al.	1969
"Sperling Perfektion", Wadenswil, <i>azoricum</i>	1,7		0,1	0,3	0,1	9,1	0,3	0,1	6,7	4,9	73,5	1,3	STAHL	1982

Tableau 6. Profils de l'essence, riche en trans-anéthole, de fruits de fenouils de diverses origines trouvés dans la littérature et classés par ordre décroissant du rapport α -pinène/limonène. Les pourcentages sont arrondis par excès; ceux correspondant aux travaux de DERYNG et al. (1967), PAUKOV et al. (1968) et KARLSEN et al. (1969) ont été extrapolés à partir des chromatogrammes. L'extraction est réalisée par distillation à la vapeur d'eau et l'analyse par chromatographie en phase gazeuse. Mais il peut y avoir hydrodistillation (CONAN, 1977), distillation fractionnée suivie d'une détermination des fractions (BUKALA et al., 1968), ou extraction par un solvant (LAMARTI, 1987).

KARLSEN et al. (1969) constatent une remarquable différence quantitative des monoterpènes entre un fenouil doux et amer: ils observent non seulement plus d' α -pinène et moins de limonène pour la variété *vulgare*, mais aussi plus de camphène, d' α -phellandrène, de myrcène.

Une distinction supplémentaire est apportée par HARBORNE et al. (1969) qui concluent par chromatographie sur couche mince à la présence de dérivés de la myristiciné dans les fruits de la variété *dulce* et à leur l'absence dans ceux du fenouil sauvage.



Une recherche bibliographique nous a permis de reporter dans le tableau 6 les profils de l'essence des fruits, voire des ombelles fructifiées de fenouils de diverses origines. Nous inspirant des données de TóTH (1967b), nous les avons classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène sur limonène. Les fenouils considérés comme appartenant à la variété *dulce* ou d'origine asiatique ont un rapport généralement inférieur à 1. Ce rapport semble très faible pour le fenouil bulbeux (STAHL, 1982). Le taux de fenchone d'un fenouil cultivé à la Réunion analysé par CONAN (1977) est particulièrement bas. Le pourcentage d'estragole trouvé par ROZAS DE VOTTERO et al. (1981) pour un fenouil cultivé en Argentine est non négligeable.

SCHIMMEL et C¹ (1893) parlent de "*Foeniculum piperitum*" pour un fenouil de Sicile présentant 2.9 % d'essence. PELLINI (1923) attribue à "*F. piperitum* DC." un fenouil récolté à Palerme dénué d'anéthole et présentant comme principal constituant l'estragole. BETTS (1968b) pense que les fenouils sans anéthole, avec 80 % d'estragole et 15 % de fenchone, pourraient appartenir à "*F. piperitum* Presl." (tab. 5). HEGNAUER (1973) considère le fenouil sauvage d'Espagne analysé par TóTH en 1967a et possédant 12.5 % d'estragole (tab. 4) comme pouvant correspondre à la sous-espèce *piperitum*.

Mais Nilov en 1938 (d'après TÉTÉNYI, 1970, page 108) aurait trouvé de l'anéthole et de la fenchone dans l'essence des fruits de la sous-espèce *piperitum*. RODRIGUEZ et al. (1982) appellent "*F. piperitum* Mill." un fenouil originaire de Hongrie (cultivé en Argentine), présentant 0.83 % d'essence avec 33.63 % d'anéthole.

Il n'est pas certain que ces fenouils correspondent effectivement au fenouil d'âne, dont la composition de l'essence des fruits reste à préciser.

b) Teneur

Elle est extrêmement variable: ainsi, CLEVINGER (1942) observe pour 51 échantillons de 6 pays 0.8 - 6.0 ml d'essence par 100 g de fruits, et FISHER et al. (1945) en obtiennent, après distillation de 15 lots, 0.96 - 5.79 ml.

CLEVINGER (1942) constate une forte teneur pour les fruits d'Allemagne et de Roumanie, et une faible teneur pour ceux d'Inde. GRAAFF (1929-1930) trouve la variété *vulgare* plus riche en essence que la variété *dulce*. CHINGOVA (1967) fait la même constatation pour diverses origines de Bulgarie, et obtient peu d'essence pour les fenouils annuels d'Inde et d'Egypte. BETTS (1968a) met en évidence l'intérêt de rapporter la teneur à 100 fruits. KARLSEN et al. (1969) constatent qu'elle augmente dans les fenouils améliorés.

Nous avons reporté dans le tableau 7 quelques unes des teneurs fournies par la littérature, que nous avons cherché à exprimer en poids d'essence pour 100 g de fruits séchés à l'air. La teneur est généralement plus importante pour la variété *vulgare* que pour la variété *dulce*. Elle est élevée pour l'Allemagne, l'Autriche et les pays d'Europe centrale. Elle est faible pour les pays situés à l'est de la Méditerranée et le sous-continent indien, mais atteint cependant 8.5 % pour un fenouil riche en estragole observé par SHAH et al. (1970) dans l'Etat de Madras en Inde.

Les teneurs pour le fenouil bulbeux sont faibles: 2.6 % (LA FACE, 1924), 1.3-2.6 % (BAUER, 1942), 1.9 % (HEEGER et ROSENTHAL, 1949), 1.3-1.9 % (RODRIGUEZ et al., 1982).

origine (à défaut lieu de de culture)	SCHIMMEL et C ^{ie} , 1893	UMNEY, 1896, 1897	GRAFF, 1931	CLEVENGER, 1942	TOTH, 1967b	CHINGOVA, 1967	valeurs fournies par quelques autres travaux
Japon		2,7			3,0-4,5		
Inde	1,2	0,7		0,8-1,6	0,4,1,4	0,8	0,7, 0,8 (RAD et al., 1925); 2,0-2,4 (OSISIDGU, 1967); 1,4 (BETTS, 1968b); 0,8-2,2 (LAL et SEN, 1971); +8-8,5e (SHAH et al., 1969, 1970); 1,2-1,4 (RANDHAWA et GILL, 1985)
Pakistan							2,0-2,2 (WAHID et IKRAM, 1961); 1,6-2,5 (ASHRAF et al., 1975)
Chine					2,4,2,6		3,3 (d'après ROSENTHALER, 1913)
Syrie, Iran	1,6	1,7					1,9 (d'après GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961)
Egypte						0,9	1,6-1,9 (ABDEL AL et al., 1973); 1,1 (ABDU-ZIED, 1974); 1,6 (AHMED et EID, 1975); 1,5,1,6 (ABDALLAH et al., 1978); 1,7-1,9 (EL-GENGAIHI et ABDALLAH, 1978)
"Levant"			2,5				1,4 (GUENTHER, 1950)
Turquie	0,8						1,7-2,5 (AKGÜL, 1986)
Italie	2,9,4,2		2,0	3,0-4,7v			4,2e, 4,3e (PELLINI, 1923)
Portugal							3,6 (FERNANDES COSTA et CARDOSO DO VALE, 1959)
Espagne							3,8 (GUENTHER, 1950); 2,3-4 (GARCIA M. et P.C., 1951)
Argentine				1,9-4,4	3,4-7,0		4,1 (ROZAS DE VOTTERO et al., 1981); 0,6-2,6d, 2,7 (RODRIGUEZ et al., 1982)
Amérique N							1,5d (EMBONG et al., 1977)
France	4,3v	3,2					2,5-3,0 (GUENTHER, 1950); 6,2 (BERNARD, 1987)
	2,5d	2,1d	2,7d	1,9-2,9			
Angleterre							3,1e (BETTS, 1968b)
Hollande			3,0-4,4			1,2v	
Allemagne	4,4-5,5	4,7	4,4-5,3	3,5-5,8		3,7v	2,1-7,3 (HEEGER et ROSENTHAL, 1949); 4-5 (GUENTHER, 1956); 4,8 (TRENKLE, 1970)
Autriche			2,8-4,5				
Pologne	4,5-6	4,4				3,4,4,5v	3,4-7,7 (d'après FENAROLI, 1963)
Tchécoslov.	4					3,9v	
Hongrie							4,5 (PATER, 1925); 3,4-5,4 (RDM, 1929-1930)
Roumanie	4,4-4,9		3,3-3,5	3,6-4,9			2,3 (PATER, 1925); 4,3-5,2 (CALCANDI et al., 1961); 4,8 (TRENKLE, 1970)
Bulgarie						2,3-4,3v	2,7-5,8v (KARLSEN et al., 1969); 1,5-3 (SEHER et IVANOV, 1976)
			2,3d		2,4-2,6d	1,0-3,3d	
Yougoslavie							4 (TUCAKOV, 1957, page 212)
Macédoine	3,4-3,8						2,1,2,6 (AKAČIĆ et ROGINA, 1953)
Russie		4,8	1,6			2,0v	0,6, 3,1, 7 (d'après GILDEMEISTER et HOFFMANN, 1961)

Tableau 7: Teneurs en essence des fruits de fenouil de différents pays trouvées par divers auteurs. Nous avons retenu comme mode d'expression le poids d'essence par 100 g de fruits séchés à l'air, chaque fois que les indications le permettaient. Les valeurs sont arrondies au dixième par excès.
v, d; correspondrait à la variété *vuigare, dulce*
e; essence renfermant plus de 20 % d'estragole

c) Variabilité au sein d'un même lot

Quelques auteurs ont analysé l'essence, akène par akène, au sein d'un même échantillon: STAHL et HERTING (1976) ont obtenu par chromatographie sur couche mince une teneur de 0.7-6.6 mg d'anéthole par méricarpe. Des chromatographies en phase gazeuse portant sur un seul akène ont été réalisées par HÉTHELYI et TÉTÉNYI (1979) pour des fenouils doux; les pourcentages de fenchone, estragole et trans-anéthole établis par ces auteurs suggèrent une certaine variabilité, qui pourrait ne pas être seulement d'ordre phénotypique.

L'étude de pieds issus d'un même lot est plus intéressante. En 1973, il a été observé à l'I.R.A.B. (DESMAREST, 1987, comm. pers.) sur des plantes isolées d'un fenouil doux une teneur de 22-35 g d'anéthole par kg de fruits secs. Nous reportons dans la figure 5 la distribution de la richesse en anéthole établie en 1974 par ce même Institut pour une population de fenouil amer.

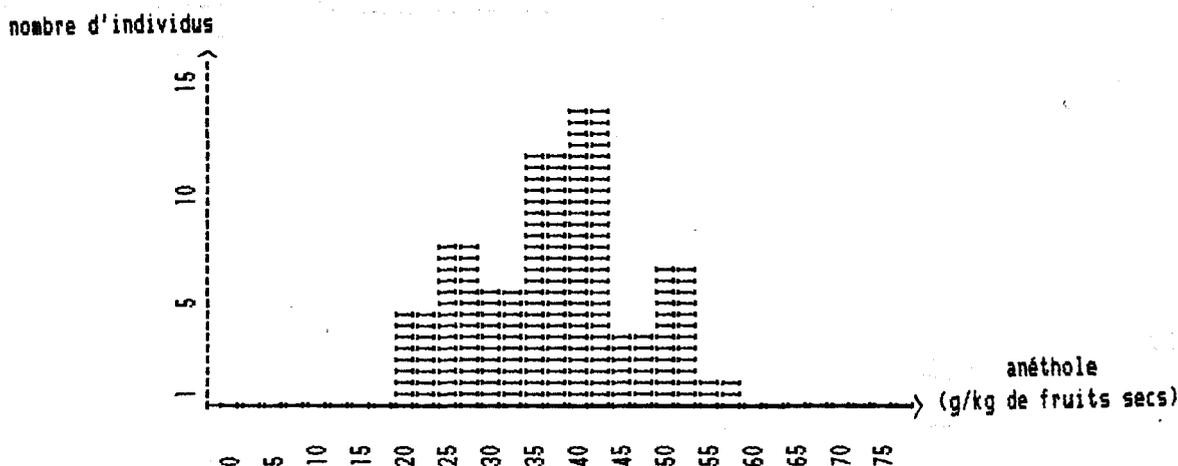


Figure 5: Répartition des teneurs de trans-anéthole obtenues pour 50 pieds de fenouil amer de Blumbell et exprimées en g par kg de fruits secs (DESMAREST, 1987, comm. pers.).

4) Essence des parties souterraines et de la plantule

En 1982, STAHL constate que l'essence des racines d'un fenouil bulbeux possède 34.7 % d'apiole et seulement 0.6 % de dillapiole. D'après d'autres auteurs (TÓTH, 1967a; TRENKLE, 1970, 1972; FUJITA et al., 1980; LAMARTI, 1987), on aurait moins de 16.3 % d'apiole et plus de 45.6 % de dillapiole pour les variétés vulgare, dulce, les fenouils d'Inde, de Chine, du Japon et d'Argentine.

Le dillapiole a encore été signalé en grande quantité pour la plantule de fenouil amer (TRENKLE, 1970; LAMARTI, 1987). FUJITA et al. (1980) trouvent, pour une plantule de 42 jours, 90.3 % de ce composé. Sa teneur, importante dans les cotylédons, diminue dans les feuilles primordiales et est pratiquement nulle dans la première feuille stérile (LAMARTI, 1987).

5) Essence des parties aériennes

- TÓTH (1967b) a étudié la cinétique des composés volatils et constate que la fenchone, l'estragole et l'anéthole tendent à diminuer dans les vieilles feuilles et les vieilles tiges contrairement à l' α -pinène, l' α -phellandrène et le limonène. Notons cependant que les feuilles d'un fenouil doux analysé par RAVID et al. (1983) présentent plus de limonène en début qu'en fin de fructification.

- TÓTH (1967b) met en évidence 2 groupes de fenouils ayant des cinétiques d'accumulation différentes pour l' α -pinène, l' α -phellandrène et le limonène: la variété *vulgare*, les fenouils du Japon et d'Argentine accumuleraient préférentiellement l' α -pinène et l' α -phellandrène; les variétés *dulce*, *azoricum* et *panmorium* accumuleraient plutôt le limonène. Chimiquement, le fenouil du Japon s'éloignerait donc des variétés *dulce* et *panmorium*.

CONAN (1977), EMBONG et al. (1977), et RAVID et al. (1983) trouvent pour les parties aériennes de la variété *dulce* beaucoup de limonène (18.0-73.9 %) et peu d' α -pinène (1.7-4.8 %) et d' α -phellandrène (<1.0-<2.7 %) en accord avec les observations de TÓTH (1967); de même, TRENKLE (1970) signale pour les feuilles et les tiges de 2 fenouils amers, d'Allemagne et de Roumanie, d'au moins 63 jours, 12.7-42.4 % d' α -pinène, <7.8-<25.4 % d' α -phellandrène et seulement 0.9-2.0 % de limonène. Le bulbe d'un fenouil bulbeux analysé par STAHL (1982) présente 0.08% d' α -pinène et 18.01 % de limonène.

Une autre distinction est permise par les pourcentages d'estragole. Ces derniers sont élevés aussi bien pour les fruits (tab. 4) que pour les parties végétatives du fenouil d'Argentine et de celui d'Espagne analysés par TÓTH (1967b).

L'existence de forts taux d'estragole est signalée par d'autres auteurs. Ainsi ROZAS DE VOTTERO et al. (1981) rapportent 14.6 % d'estragole pour un fenouil amer en fleurs. Les caractères organoleptiques d'une essence des

parties aériennes d'un fenouil cultivé à Jersey (SCHIMMEL et C¹, 1913) sont en faveur d'un taux d'estragole supérieur à celui d'anéthole. LA FACE (1957) trouve une essence de la plante qui serait dénuée d'anéthole et présenterait 32.70 et 36.90 % d'estragole pour 2 localités en Lucanie (Italie). BETTS (1968b) a semé les 3 lots de fruits riches en estragole et dénués d'anéthole (tab. 5) et observe ces mêmes caractères pour l'essence des feuilles.

- La comparaison de clones issus de fruits d'un même lot peut mettre en évidence une certaine variabilité. Ainsi, LAMARTI (1987) a réalisé la culture d'apex du fenouil amer "C 25" et retenu 3 clones différant entre eux par les taux de myrcène + α -phellandrène et d'estragole.

6) Autres composés chimiques

Les données bibliographiques sont encore insuffisantes et ne mettent en évidence un intérêt taxonomique que pour un nombre restreint de composés, comme les flavonosides, les coumarines et les acides gras.

a) Flavonoïdes

HARBORNE et SALEH (1971) ont analysé, par chromatographie bidimensionnelle sur papier, les flavonosides de 19 lots de feuilles de fenouils de diverses origines et observent 2 groupes, ne corrélant pas avec la distribution géographique: tous les échantillons présentent les 3-glucuronides du kaempférol et de la quercétine, et 6 les 3-arabinosides. Seulement 3 échantillons sont rattachés à des variétés définies: la variété *dulce* pourrait ne pas posséder d'arabinosides, contrairement à la sous-espèce *piperitum*. KUNZEMANN et HERRMANN (1977) ont trouvé les 2 arabinosides pour les feuilles d'un fenouil bulbeux d'Italie. L'hypothèse d'une variabilité intrapopulationnelle doit aussi être, à notre avis, envisagée pour ces composés.

b) Coumarines

Les coumarines des racines et des fruits ont été étudiées par plusieurs auteurs. Elles paraissent absentes, par chromatographie sur couche mince, pour les fruits de la sous-espèce *vulgare*, contrairement à ceux de la sous-espèce *piperitum* (KAMIŃSKI et al., 1978). Mais le nombre de ces composés apparaît d'autant plus élevé que les techniques analytiques sont plus précises. Curieusement, EL-KHRISY et al. (1980) et MENDEZ et

CASTRO-POCEIRO (1981) sur un total de 9 coumarines ne trouvent en commun, dans les fruits, que le bergaptène. Des potentialités biosynthétiques différentes ne sont pas à exclure.

c) Lipides

KLEIMAN et SPENCER (1982) observent des caractéristiques voisines pour l'huile grasse des fruits de 2 fenouils, dont un provient d'Espagne et est rapporté à la sous-espèce *piperitum*. Cependant, les nombreuses données bibliographiques (CHRISTIAN et HILDITCH, 1929; MOREAU et al., 1966; ABOU-ZIED, 1974; SEHER et IVANOV, 1976; etc...) suggèrent une variabilité importante de la teneur en huile grasse ((2.8)9-18-25(35) g / 100 g de matière sèche) et de la composition en acides gras, en particulier des pourcentages des acides pétrosélinique (44.5-80.1 %) et oléique (2.9-36 %).

C PARTIE EXPERIMENTALE
I MATERIEL ET METHODES

1) Echantillons de fenouils

Nous nous sommes procuré auprès de divers organismes ou personnes et dans le commerce plus de 100 échantillons de semences de fenouil. Leur origine est indiquée dans les tableaux 8 à 12, à l'exception des lots 22-27, récoltés dans la région de Béziers, pour lesquels nous fournirons des précisions dans le texte.

Les fruits ont été conservés à l'obscurité, à température ambiante, dans des sachets en cellophane. Les échantillons sont déposés à la graineterie du Jardin Botanique du Montet, 100, rue du Jardin Botanique, 54600 Villers-lès-Nancy, France.

2) Analyse des lots de semences

a) Introduction

Nous avons décidé de ne pas analyser les fruits après culture en champ, car les terrains d'essais dont nous disposions étaient de surface restreinte et peu homogènes; il aurait été nécessaire de considérer au minimum 30 pieds par origine, afin de tenir compte de la variabilité intrapopulationnelle. De plus, certains plants risquaient de ne pas fructifier dans les conditions climatiques du Nord de la France. Comme la période végétative des fenouils est variable, on n'aurait pu empêcher que

n°	origine, n° d' <i>Index seminum</i> (Is.)	variété ou sous-espèce indiquée	année de			Instituts, Jardins Botaniques (J.B.), Etablissements, expéditeurs
			récolte	réception	analyse	
1	Cannes, Alpes-Maritimes, France	<i>piperitum</i>	83	84		J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
2	S. Maria delle Molo, ≈70 m, près de Rome	<i>piperitum</i>	77	83	84	Instituto dell'orto botanico, 00165 Roma, Italie
3	Mèze, Hérault, France	<i>piperitum</i>		83	84	J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
4	à l'état sauvage, Portugal	<i>piperitum</i>	82		86	Estação agronómica nacional, P-2780 Oeiras, Portugal
5	cultivé près de Rabat, Maroc		83		84	M. Lamarti (A.)
6	inconnue, cultivé au J.B. de Glasnevin		80		84	The National Botanic Gardens, Glasnevin Dublin 9, Irlande
7	D 767 entre Vannes et Pontivy, Morbihan, France		84		84	M ^{lle} Pihours (L.)
8	Huy, province de Liège, Belgique	<i>vulgare</i>	83	84		J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
9	Amay, arrondissement de Huy, Belgique	<i>vulgare</i>	83	83		J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
10	inconnue	<i>azoricum</i>	83	84		Royal Horticultural Society' Garden (R.H.S.G.), Wisley
11	Félines-Minervois, Hérault, France	<i>piperitum</i>	83	86		J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
12	inconnue, n°378 (Is, 1982), petites graines		83	84		R.H.S.G., Wisley, Woking, Surrey, GU23 6QB, Angleterre
13	bordure du domaine universitaire de Beaulieu		83	84		M. Lebouc (Y.), Service technique, Université de Rennes
14	inconnue		83	84		J.B. de la ville de Bordeaux, terrasses du jardin public
15	inconnue		83	83		J.B. de Bordeaux, place Bardineau 33000 Bordeaux
16	provient d'l plant récolté à Fréjus, Var	<i>piperitum</i>		85	86	cultivé et récolté au Muséum de Nice par M. Alziar (G.)
17	Roccastrada (près de Grosseto), Toscane, Italie		81	83	84	Orto Botanico dell'Università, 53100 Siena, Italie
18	Allauch, Bouches-du-Rhône, France	<i>vulgare</i>		83	83	J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
19	"le pont du diable", près d'Aniane, Hérault		83		84	M. Badoc (A.)
20	vignes à côté de l'abbaye de Valmagne, Hérault		83		84	M. Badoc (A.)
21	Vias, Hérault, France		82		84	M. Badoc (A.)
28	Conques-sur-Orbiel, Aude, France	<i>piperitum</i>		83	84	J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique

Tableau 8: Détails concernant la provenance de 22 lots de semences de fenouils.

n°	origine, n° d'Index seminum (I.S.), référence (réf.)	endémique, sous-espèce, cultivar, variété indiqués	année de récolte achat réception analyse	Instituts, Jardins Botaniques (J.B.) Etablissements, expéditeurs
29	condimentaire	"Fenouil entier"	84	Ducros & fils, 26170 Buis-les-Baronnies France
30	inconnue	"doux"	84 84	Northrup King Seeds Fresno 93776 California USA
31	condimentaire	"fenouil"	84 85	Mc Cormick & Co Inc, Baltimore, MD-USA (MD Marseille)
32	condimentaire	"fenouil graines"	85 86	Pacha, 8 rue du Vieux Temple, 38000 Grenoble
33	Vila Franca, Coimbra, Portugal		82	Laboratório e Jardim Botânico, 3049 Coimbra Portugal
34	Eni Koussi, Tibesti, Tchad	<i>Foeniculum scoparium</i> Quézel	85 86	Pr. Quézel (P.), Université d'Aix Marseille III
35	cultivé, Chaouen, 1200 m, nord du Maroc		82	M. Lamarti (A.)
36	inconnue, n° 21 (I.S, 1982)	"Budakalászi"	83 84	<i>Instituti Plantarum Medicinalium</i> Budakalász, Hongrie
37	inconnue, n° 19 (I.S, 1982)		83 84	<i>Instituti Plantarum Medicinalium</i> Budakalász, Hongrie
38	cultivé en Hongrie, réf. VIII-7-4	"Budakalászi"	83 84	Research Centre for Agrobotany, N.I.A.V.T., Hongrie
39	Belgique, réf. VIII-7-5		83 83	N.I.A.V.T., H-2766, Tapiószéle, Hongrie
40	Strasbourg-Robertsau		81	J.B., Université Louis Pasteur, F-67083 Strasbourg Cedex
41	inconnue	"bronzed-leaved form"	83 84	Royal Horticultural Society's Garden, Wisley, Angleterre
42	cultivé		82	<i>Hortus Botanicus Universitatis</i> , H-4010 Debrecen, Hongrie
43	coteaux calcaires, 350 m, Lantenay, Côte-d'Or		83	M. Fabre (M.)
44	Rana Calda (San Rafael), province de Mendoza, Argentine		83	Pr. Tizio (R.), Laboratorio de Fisiología Vegetal
45	inconnue, réf. 649-77	<i>piperitum</i>	83 84	Real Jardin Botanico, Plaza de Murillo, 2 - Madrid-14
46	inconnue		83?	J.B. de Nantes, 44000 Nantes, France
47	inconnue, réf. 402-77		83 84	Real Jardin Botanico, C.S.I.C., Madrid-14, Espagne
48	Luján de Cuyo, province de Mendoza, Argentine		83	Pr. Tizio (R.), UMD Rio Cuarto, 5800, Córdoba, Argentine

Tableau 9: Détails concernant la provenance de 20 lots de semences de fenouils.

n°	origine, n° d'Index seminum (Is.), référence (réf.)	cultivar, variété indiqués	année de	Instituts, Jardins Botaniques (J.B.) Etablissements, expéditeurs
49	Californie		76	M. Badoc (A.)
50	inconnue		80	<i>Hortus botanicus Fominianus</i> , 252032 Kiev, Ukraine
51	inconnue		83	J.B. de Fominianus, 252032 Kiev Kominterna 1, Ukraine
52	île de Flores, Açores, non mûr	<i>azoricum</i>	81	M. Leclair (A.), Station française de mesures, Flores
53	cultivé	<i>dulce</i>	86	<i>Hortus Botanicus Universitatis</i> , H-4010 Debrecen, Hongrie
54	réf. FDE 13/77	"deutscher Großfrüchtiger"	82	Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung
55	inconnue, cultivé au J.B.	<i>dulce</i>	83	Laboratório e Jardim Botânico, 30A9 Coimbra, Portugal
56	inconnue, plusieurs récoltes au J.B. de Bochum		83	Rhur-Universität Bochum, Postfach 10 21 48, 4630 Bochum 1
57	inconnue, n°20 (Is, 1982)	<i>dulce</i>	<81	<i>Instituti Plantarum Medicinalium</i> , Budakalász, Hongrie
58	Hongrie, réf. VIII 7-2		83	N.I.A.V.T., H-2766 Tápiószéle, Hongrie
59	bretonne d'autoroute, Lens, Pas-de-Calais		82	piéd cultivé depuis 1980 par M. Morinville (J.P.)
60	inconnue		<82	provient de l'Institut botanique de Moscou
61	inconnue	<i>vulgare</i>	83	Laboratoires Yves Rocher, 56201 La Facilly Cédex
62	Ampsin, province de Liège, Belgique	<i>vulgare</i>	83	J.B. de Liège, B 4000 Liège, Belgique
63	n° 398 (Is, 1982-83), cultivé au J.B.		83	J.B. de Brno, 66243 Brno Komenského nám.2. CSSR
64	n° 400 (Is, 1982-83), cultivé au J.B.	<i>dulce</i>	83	J.B. de Brno, Tchécoslovaquie
65	n° 399 (Is, 1982-83), cultivé au J.B.	"krajovy"	83	J.B. de Brno, Tchécoslovaquie
66	Méjolanès, récolté vert	<i>vulgare</i>	79	Pr. Paupardin (C.)
67	Valle de Guerra, Tacoronte, Ténériffe, Canaries		84	Mlle Uchin (I.)
68	Tacoronte, Ténériffe, Canaries		82	Pr. Paupardin (C.)
69	inconnue, réf. FDE 15/78	<i>dulce</i>	83	Z.6.K., DDR-4325 Gatersleben, Allemagne de l'Est
70	inconnue	<i>vulgare</i>	77	Pr. Paupardin (C.)
71	FA2 lot 229-04	<i>vulgare</i>	79	Pr. Paupardin (C.)
72		"C 22"	84	I.R.A.B., 120 avenue Foch, 94015 Créteil, France
73	récolté dans l'Eure	"C 25"	81	I.R.A.B.
74	récolté à Thiais (Val-de-Marne)	"C 26"	83	I.R.A.B.
75	n° 12 (Is, 1982-83), cultivé au J.B.	<i>vulgare</i>	85	I.R.A.B.
76	Jarville-la-Malgrange, 230 m, Meurthe-et-Moselle		75	J.B. de Brno, Tchécoslovaquie
			83	J.B. de Nancy, 100 rue du J.B., 54600 Villers-lès-Nancy

Tableau 10: Détails concernant la provenance de 28 lots de semences de fenouils.

n°	origine, n° d'Index seminum (Is.),	cultivar, variété indiqués	année de achat récolte	année de réception analyse	Instituts, Jardins Botaniques (J.B.) Etablissements, expéditeurs
77	inconnue	"roux"		83 84	Laboratoires de cosmétologie Yves Rocher, 56201 La Gacilly
78	semences de sélection classique	<i>duice</i>	84	84	Institut de Recherches Appliquées aux Boissons, Créteil
79	Hermalle-sous-Argenteau, province de Liège	<i>vulgare</i>		83 84	J.B. de l'Université de Liège, B 4000 Liège, Belgique
80	n° 378 (Is, 1982), grandes graines			83 84	Royal Horticultural Society's Garden, Wisley, England
81	Nador, nord-est du Maroc		83	84	acheté à la braderie de Lille
82	condimentaire	"Fenouil"	85	86	Cigalou, ASA St Martin-d'Abbat, 45110 Châteauneuf-sur-Loire
83	acheté en Egypte		<81	84	M ^{lle} Bouvelle (M.H.)
84	condimentaire	"fenouil"	85	86	Amora S.A., 48 Quai N. Rolin 21000 Dijon France
85	condimentaire, bazar d'Istanbul, Turquie		85	85 86	M ^{lle} Bouvelle (M.H.)
86	"sombu", marché de Bangalore, sud de l'Inde		85	85	M. Legrand (L.), St Peter's Pontifical Seminary, Bangalore
87	récolté dans la région de Pékin, Chine		83	84	M. Zhang (Jie), Beijing Botanical Garden
88	condimentaire, Chandigarh, nord de l'Inde		83	84	M ^{lle} Aggarwal (A.)
89	cultivé; vendu dans les marchés, Bangladesh		84	84	M. Hossain (M.M.)
90	cultivé, Bangladesh		83	84	M. Talukder (M.M.), Agricultural University, Mymensingh
91	acheté à Francfort à un pakistanais		<81	84	M ^{lle} Bouvelle (M. H.)
92	dans un mélange aromatique acheté au Bangladesh		83	84	M. Talukder (M.M.), Agricultural University, Mymensingh
93	consommé dans un hôtel indien de Vancouver, Canada		<76	84	M. Badoc (A.)

Tableau III. Détails concernant la provenance de 17 lots de semences de fenouils.

n°	dénomination	origine	référence	récolte	achat	réception	année de analyse	Instituts, Etablissements, expéditeurs
94	"Sperling's Perfektion"		FDE 17/82	82?	83	84		Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung (= Z.G.K.), 4325 Gatersleben, Allemagne de l'Est
95	"Fänkäl"	Suède	10 29 08	83	86			Weibulls, Landskrona, Suède
96	"Fenouil de Florence"	France	536701	83	84			Watrinet (C.), 18 Place St-Jacques, Metz
97		Argentine	170	83	86			Semillas Germinadora, Argentine
98	"Fenouil D'été"	France	14.734.02	85	85			Vilmorin, La Méritré, 49250 Beaufort-en-Vallée
99	"Latina"	France	03 840	83	84			Clause, 91221 Brétigny-sur-Orge
100	"Doux de Florence"	France		83	83			Vita, Valence-s-Rhône et SRL Fontanafredda (PN), Italie
101		Argentine		82	84			I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria)
102	"Fänkäl"	Suède	179	84	84	84		Hamnehögs - 27050 Hamnehög, Suède
103	"Fenouil doux de Florence"	France	12800	85	85			Léonard Lille; produit par S.P.6, Avignon
104	"Fenouil de Florence"	France		85	86			Les doigts verts, BP 23 - 33560 Carbon-Blanc
105	"Fenouil de Florence"	France		83	84			Graineterie du Faubourg d'Arras, Lille (Séminor, Cambrai)
106	"Fenouil doux de Florence"	France		84	84			Tézier S.A., Valence-Saumur-Juvisy-R.C, Romans
107	"Fenouil De Florence"	France	14.728.02	85	85			Vilmorin, La Méritré, 49250 Beaufort-en-Vallée
108	"Fenouil doux de Florence"	France	12800	83	84			Le Paysan; produit par S.P.6, Avignon
109	"Domino"	France			83	84		Clause, 91221 Brétigny-sur-Orge
110	"Géant Mammoth Perfection"	France		83	84			Truffaut, 21 rue des pépinières, les noëls, 41350 Vineuil
111	"De Mantoue race Solar"	France	03 836		83	84		Clause, 91221 Brétigny-sur-Orge
112	"Hâtif de Genève"	France	03 834		83	84		Clause, 91221 Brétigny-sur-Orge
113	cultivé à Hyde Park, Londres			81	83	84		M. Bryer (S.)

Tableau 12. Détails concernant l'origine de 20 lots de semences de fenouil bulbeux analysés, provenant du commerce, mis à part le n° 113.

ces conditions ne s'exercent à des phases différentes de croissance. Nous ne disposions pas par ailleurs de place pour une culture sous serre ou sous plastique. L'analyse a donc porté sur les différents échantillons de fruits que nous avons pu rassembler.

La connaissance des facteurs susceptibles de modifier la composition ou la teneur de l'essence nous a conduit à préférer l'utilisation d'un solvant à la distillation, qui présente trop d'inconvénients (page 69) et qui est, de surcroît, peu rapide. De même nous avons été amené à tenir compte du degré de maturité des fruits (page 63), en triant les lots de semences et à éviter les inconvénients d'un stockage de l'essence (page 70), en réalisant nos chromatographies en phase gazeuse directement après l'extraction. Nous avons cherché à connaître l'ancienneté (voir page 66) de nos échantillons. Les coefficients de réponse vis-à-vis du détecteur du chromatographe ont été calculés (page 72) et nos résultats ont été rapportés au poids de matière fraîche, de matière sèche et au nombre d'akènes, voire de diakènes.

b) Observations des fruits

Les lots fournis par les jardins botaniques et les instituts sont souvent inférieurs à 5 grammes, aussi avons nous dans un grand nombre de cas trié la totalité des fruits disponibles.

Le pourcentage de diakènes est établi à partir des semences dont l'albumen est bien développé: les diakènes qui nous ont paru immatures et de petite taille ont été éliminés ainsi que les akènes aplatis et légers. Certains jardins botaniques envoient des semences parfois déjà triées.

Les fruits verts ont été séparés et leur pourcentage établi, chaque diakène étant considéré comme équivalent à 2 akènes. La distinction entre fruits verts et bruns est imprécise. Elle dépendrait de l'éclairement. De plus, elle est de moins en moins aisée avec le temps de stockage, les fruits verts devenant plus gris.

Le pourcentage de fruits courbes est assez difficile à apprécier: ces fruits sont plus facilement mis en évidence s'ils sont de grande taille; nous avons donc décidé qu'un akène serait courbe à partir du moment où sa face interne posséderait une courbure au moins aussi marquée que celle d'un cercle de 4 mm de rayon.

Toutes les pesées de ce travail ont été effectuées sur une même balance qui donne des valeurs au centième de mg. Celles-ci n'ont pas été arrondies

dans les calculs, bien que la précision soit plutôt de l'ordre du dixième de mg. Nous n'avons pas tenu compte des variations de température et du degré hygrométrique ambiant.

Les fruits de chaque lot ont été pesés. Nous n'avons considéré que des akènes bruns, non abîmés, dénués de carpophore et à albumen développé. Nous parlerons de poids de "matière fraîche" afin de le différencier d'un poids de "matière sèche", établi à partir du résidu d'extraction et que nous définirons plus loin.

La longueur, la largeur et l'épaisseur des akènes ont été estimées à l'aide d'un palmer, donnant des mesures au centième de mm. Le carpophore, éventuellement resté attaché est retiré; on ne mesure que des akènes non abîmés; le stylopoде étant presque toujours présent, nous ne l'avons pas ôté pour la mesure de la longueur comme le font GLEISBERG et HARTROTT (1960). Pour la longueur et la largeur, il n'est pas possible de prendre la valeur correspondant au "déclat" du palmer, en raison d'une certaine élasticité des fruits et de la fragilité du stylopoде. Nous n'avons tenu compte, pour les fruits fortement courbés, que de la largeur et de l'épaisseur. La reproductibilité est mauvaise, mais la mesure de 50 fruits semble suffisante et est beaucoup plus rapide que si on avait utilisé un micromètre optique.

Nous indiquerons que l'échantillonnage est faible quand le poids et la taille auront été établis avec moins de 50 et 30 akènes respectivement. Cela peut arriver pour des fruits provenant d'herbier ou encore pour des fruits de grande taille ou peu mûrs. Dans ce dernier cas, nous avons parfois préféré indiquer la taille et le poids des diakènes.

c) Extraction

- Elle a été réalisée avec du n-pentane bidistillé, dont on a vérifié la pureté par chromatographie en phase gazeuse. Le broyage d'environ 0.2 g d'akènes bruns a lieu dans un petit mortier avec un pilon, préalablement lavés, flambés à l'alcool et refroidis. A plusieurs reprises, on verse un peu de pentane, on broie et on enlève à l'aide d'une pipette neuve la plupart du surnageant riche en particules en suspension. Ces dernières sont retenues sur un filtre plissé d'environ 5 cm de diamètre. On opère à température ambiante jusqu'à obtention de 1 à 4 ml d'extrait en moins de 5 minutes, afin de limiter les pertes par évaporation. On néglige les

substances volatiles restées dans le résidu d'extraction ou le filtre. On ajoute alors à l'extrait 5 ml exactement d'une solution d'étalon interne (voir plus loin) à l'aide d'une fiole jaugée à température ambiante. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse a lieu immédiatement après.

Un poids de "matière sèche" est mesuré à partir du résidu d'extraction. Le filtre est gratté ou lavé; pipette, mortier et pilon sont lavés plusieurs fois à l'alcool et à l'eau distillée. Les liquides sont rassemblés dans le couvercle d'une boîte de Pétri préalablement étiquetée et tarée. Après évaporation à l'air libre, le couvercle est placé dans un dessiccateur. Le résidu d'extraction ne présente presque plus d'eau après quelques jours mais nous avons néanmoins poursuivi la déshydratation dans une étuve à 60°C et réalisé des pesées successives jusqu'à l'obtention d'une variation inférieure à 5 mg. Au sortir de l'étuve, les couvercles sont placés dans un dessiccateur afin d'éviter toute condensation.

Le poids d'eau et de lipides extraits, rapporté à 100 g de "matière fraîche" est calculé à partir du poids de "matière fraîche" des akènes diminué de celui de "matière sèche" de leur résidu d'extraction et du poids d'essence estimé par chromatographie en phase gazeuse.

- L'extraction peut aussi porter sur un seul akène. On procède alors différemment: un akène mûr préalablement pesé est broyé avec quelques gouttes de pentane bidistillé à température ambiante dans un tube de verre à l'aide d'un agitateur. Ce dernier est ensuite rincé avec le moins possible de solvant, et on ajoute précisément une quantité pouvant varier entre 20 et 50 µl d'une solution d'étalon (voir plus loin); l'analyse par chromatographie en phase gazeuse suit immédiatement.

d) Chromatographie en phase gazeuse

α) Conditions opératoires

- chromatographe Girdel série 30

- détecteur à ionisation de flamme

- colonne en acier de 2 mètres d'environ 1,9 mm de diamètre interne

phase liquide: 10 % de carbowax 20M sur chromosorb W A W [=Acid Washed] 80-100 "mesh",

- gaz combustible: H₂ à 2,2 bars (≈ 27 ml / mn)

gaz comburant: air synthétique (20 % d'O₂ et 80 % N₂) à 1,0 bar (≈ 222 ml / mn)

gaz vecteur: N₂ à 0,5 bars (≈ 10,5 ml / mn) à 60 °C. Cette pression est légèrement supérieure à celle permettant une séparation maximale des pics à 60 °C constants. En dehors des analyses, la colonne est

laissée continuellement sous flux d'azote afin de diminuer l'encrassement et le temps de purge, qui a lieu à 200 °C.

- programmation de température: 2 °C par minute de 60 °C jusqu'à 200 °C maintenus constants 30 mn.
- température de l'injecteur et du détecteur: 250 °C.
- quantité injectée: 3-5 µl.
- enregistreur "Sefram, Servotrace"
vitesse de déroulement du papier: 5 mm par mn
- intégrateur "ICAP 50 Delsi".

β) Détermination des pics

Le carbowax 20 M a été fréquemment utilisé pour l'analyse des essences et l'ordre de sortie des pics est bien connu (SHULGIN, 1967; SCHEFFER et al., 1977; etc...). Pour les fruits de fenouil (voir fig. 8), on a d'abord des terpènes non oxygénés bicycliques (α -pinène, camphène, β -pinène, sabinène) puis non oxygénés monocycliques ou acycliques (myrcène, α -phellandrène, limonène, β -phellandrène, γ -terpinène); viennent ensuite les terpènes aromatiques (p-cymène), les terpènes oxygénés (fenchone, linalol), puis les phénylpropènes (estragole, trans-anéthole). Tous ces composés ont pu être obtenus dans le commerce ou auprès de l'I.R.A.B. . Par comparaison avec les chromatogrammes témoins de ces substances nous avons identifié la plupart des principaux pics de l'essence de fenouil (fig. 8, tab. 13 et 14). Notre colonne n'est pas suffisamment longue pour permettre une bonne séparation des terpènes: α -phellandrène et myrcène sortent en même temps, limonène et β -phellandrène se chevauchent. Notre méthode ne permet pas de déterminer un grand nombre de composés faiblement représentés.

Le pic correspondant au cis-anéthole a été déterminé par LAMARTI (1987), qui a obtenu ce composé par isomérisation du trans-anéthole sous l'effet du rayonnement ultra-violet. LAMARTI (1987) a, de plus, défini les temps de sortie de plusieurs dérivés de la myristicine après isolement par chromatographie préparative sur couche mince du dillapiole de l'essence des fruits d'un aneth d'Inde et de la myristicine et de l'apiole de l'essence des fruits de persil (*Petroselinum crispum* A. W. Hill).

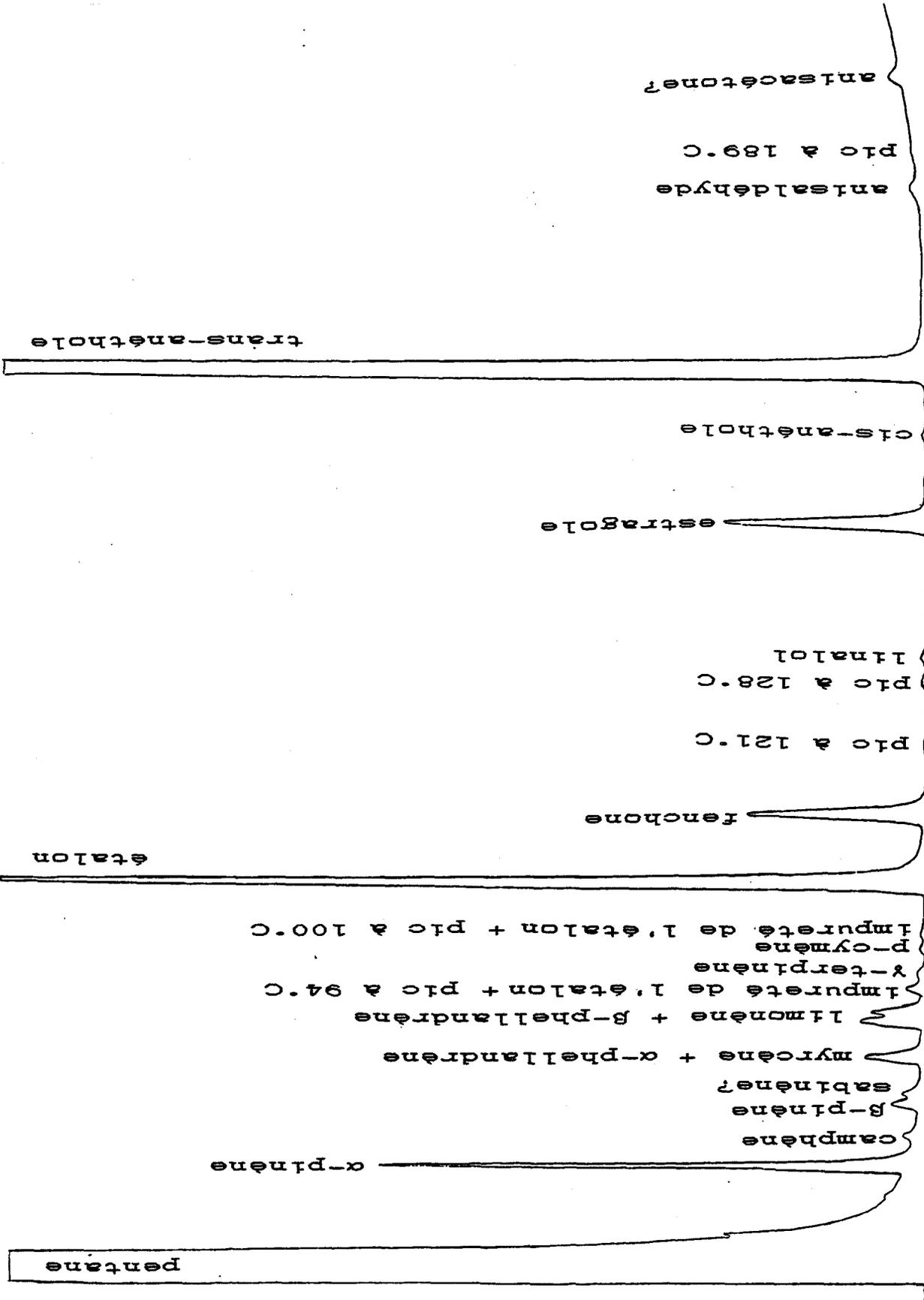


Figure 8. Chromatogramme de l'essence des akènes du lot n°35, correspondant à un fenouil cultivé à Chaouen au Maroc. L'étalon interne est l'œnanthate d'éthyle ou heptanoate d'éthyle. Les conditions opératoires sont indiquées dans le texte.

témoïn	origine	nombre visible de pics d'impuretés	pureté %	coefficient K_1
α -pinène	Fluka	3	99,0	$0,67 \pm 0,03$
camphène	I.R.A.B.	1	85,7	$0,67 \pm 0,05$ *
β -pinène	I.R.A.B.	16	83,0	$0,67 \pm 0,03$
sabinène	I.R.A.B.	12	96,2	$0,87 \pm 0,02$ *
α -phellandrène	K & K Laboratories INC.	28	45,3	$0,79 \pm 0,01$
myrcène	Aldrich	10	80,2	$1,12 \pm 0,02$
d-limonène	I.R.A.B.	13	96,4	$0,68 \pm 0,01$
γ -terpinène	Fluka	7	95,7	$0,71 \pm 0,01$
p-cymène	K & K Laboratories INC.	14	94,6	$0,65 \pm 0,01$
oenanthate d'éthyle	Fluka	2	99,2	1,00
fenchone	Fluka	3	99,5	$0,81 \pm 0,03$
linalol	Fluka	8	99,6	$0,84 \pm 0,02$ *
terpinène-4-ol	I.R.A.B.	7	97,7	$0,85 \pm 0,03$ *
estragole	I.R.A.B.	11	90,1	$0,83 \pm 0,02$
trans-anéthole	I.R.A.B.	1	99,5	$0,86 \pm 0,01$
anisaldéhyde	Prolabo	1	99,1	$1,20 \pm 0,09$

Tableau 13: Coefficients de réponse au détecteur à ionisation de flamme de substances rencontrées dans l'essence des fruits de fenouil, avec indications sur l'origine et la pureté des témoins. L'étalon interne est l'oenanthate d'éthyle ou heptanoate d'éthyle. La pureté du témoin α -phellandrène est trop faible pour permettre un calcul exact de son coefficient.
* : valeurs établies par LAMARTI

γ) Etalonnage interne

Afin d'obtenir des résultats quantitatifs, nous avons utilisé un étalon interne, l'oenanthate d'éthyle ou heptanoate d'éthyle, qui sort à 106° C sans coïncider avec un pic de l'essence. Mais il présente 2 faibles impuretés à 94 et 100°C qui sortent en même temps que des constituants peu importants; nous en avons tenu compte dans les calculs.

Nous avons ajouté aux extraits un volume exact d'une solution d'étalon de titre voisin de 0.6 g/l, préparée à température ambiante de la manière suivante: on verse dans une fiole de 125 ml placée sur le plateau de la balance de précision quelques gouttes d'étalon à l'aide d'une pipette, de

température de sortie en ° C	composé(s) correspondant au pic	temps moyen de sortie en secondes	coeff. Ki utilisé dans les calculs	n° des lots pour lesquels le pic est visible
74,5 ± 0,3	α-pinène	435	0,67	1-113
77,8 ± 0,3	camphène	535	0,67	4-112
81,3 ± 0,4	β-pinène	640	0,67	4-79,81,82,84-88,90,92,94,96,98,99,101,103-107,109-112
82,4 ± 0,4	sabinène?	670	0,69	1-35,37-48,50-56,58-64,66-79,81-90,92,94-96,98,99,101-112
86,4 ± 0,5	myrcène+α-phell.	790	1,03	1-90,92,94-113
90,3 ± 0,5	d-limonène	910	0,68	1-113
91,0 ± 0,6	β-phellandrène	930	0,68	5-10,12-15,17-28,33,35-41,43-45,47,48,50,51,54-67,69-79,88-90,94,111
93,9 ± 0,6	cis-ocimène?	1020	0,71	5,9,10,12,13,24-25,27-31,33,35-38,41,44,45,48,50,51,54,55,57,60-62,64,70-73,77,78,81,84-94,96,100,102,111
95,4 ± 0,6	γ-terpinène	1060	0,71	1-3,5-29,31-48,50-75,77-79,81,83-87,94-112
98,2 ± 0,7	p-cymène	1150	0,65	1-3,6-21,25,27-29,31-38,40-54,56-60,63,65-73,75-77,81,83,85-87,92-93,95-99,101,103,105-112
99,9 ± 0,7	?	1200	0,73	1-3,5,7-14,16-28,33,35-48,50,51,53-57,59-64,66-74,77-79,81,82,84,85,87,88,90,92,95,96,98-103,105-112
110,8 ± 0,2	?	1520	0,75	57,83
113,5 ± 0,9	fenchone	1610	0,81	1-113
120,7 ± 1,1	acétate de fenchyle?	1820	0,77	2,5-15,18-28,30-35,38-43,45-47,50-54,56-63,66,67,69-77,79,83,99,100,106,109,112
128,0 ± 1,1	camphre?	2040	0,79	5-28,31-79,82-84,86-92,95-112
131,0 ± 1,6	linalol	2130	0,84	5,7,8,10-13,19-28,33-35,38,39,41-43,46,47,51,52,55,56,59,62,66,67,69,74,77,106
135,0 ± 0,6	terpinène-4-ol?	2250	0,80	83,95,112
146,1 ± 1,4	estragole	2580	0,83	5-113
151,0 ± 2,2	?	2731	0,84	5,43,52,56,58,66,76,78,81,83,101,103,106,107
155,5 ± 1,7	cis-anéthole	2870	0,85	7,10,11,33-35,37-39,43-45,47-52,54,56,58,59,62,63,65-67,69-79,81,83-92,97-101,103-112
163,6 ± 1,6	trans-anéthole	3110	0,86	5-15,17-27,29-113
171,7 ± 2,6	?	3350	0,88	inconstant
174,0 ± 0,6	?	3420	0,89	1-3
177,5 ± 0,7	?	3520	0,89	1-3
184,0 ± 2,1	anisaldéhyde	3720	1,20	5,6,11,31-38,40,42,45,47,49,50,52,53,57,58,60,63,66,70-72,75,76,81-83,85,87,89-93,95-99,101-112
188,7 ± 1,7	?	3860	0,92	11,32,34,35,37,38,40,47,49,50,57,63,66,71,76,81,83,85,87,91-93,95,97-99,101,105,106,108-112
197,2 ± 3,1	anisacétone?	4110	0,93	6,11,32-38,40,42,45,47,49,50,52,53,56-58,60,63,66,70-72,75,76,79-83,85,87-93,95-99,101-112
200	?	4270	0,95	5,11,34,57,76,83,85,95,97,99,112
200	myristicine	4450	0,96	4-5,11,34,97

Tableau 14: Liste de la plupart des pics observés sur l'ensemble des chromatogrammes, avec leur température de sortie, le ou les composés supposés leur correspondre, leur temps de sortie, le coefficient Ki utilisé dans les calculs, et les lots où ils ont été détectés. L'étalon interne est l'oenanthate d'éthyle, qui sort à 105,8°C ± 0,8, soit à 1370 secondes; il présente 2 impuretés à 93,9 et 99,9°C, qui s'avèrent, après correction des surfaces, coïncider avec d'autres composés pour de nombreux lots.

manière à approcher 375 mg; puis on ajuste avec 125 ml de pentane bidistillé. On opère le plus rapidement possible afin de limiter les pertes par évaporation. A l'aide d'une fiole jaugée, 20 ml de la solution mère obtenue de titre voisin de 3 g/l sont versés dans une fiole de 100 ml. Celle-ci est complétée jusqu'au trait de jauge avec du pentane bidistillé. Les solutions sont conservées à -18°C. Celle à 0.6 g/l est sortie du congélateur au moins une heure avant l'extraction de manière à ce qu'elle ait eu le temps d'atteindre la température ambiante.

Le volume v injecté n'a pas besoin d'être précis. En effet, appelons C_i et C_e les concentrations en substances i et en étalon dans ce mélange. On en déduit facilement les quantités m_i de substance et m_e d'étalon injectées; par ailleurs on a proportionnalité entre aires S des pics et quantités injectées; le rapport k diffère selon les substances, ces dernières n'ayant pas un même comportement vis à vis du détecteur à ionisation de flamme:

$$\begin{array}{l} m_i = C_i \cdot V \\ m_e = C_e \cdot V \end{array} \quad \begin{array}{l} m_i = k_i \cdot S_i \\ m_e = k_e \cdot S_e \end{array} \quad \Rightarrow \quad \frac{C_i \cdot V}{C_e \cdot V} = \frac{k_i \cdot S_i}{k_e \cdot S_e} \quad \Rightarrow \quad K_{i/e} = \frac{k_i}{k_e} = \frac{C_i}{C_e} \cdot \frac{S_e}{S_i} \quad \Rightarrow \quad C_i = K_{i/e} \cdot C_e \cdot \frac{S_i}{S_e}$$

Pour calculer les concentrations C_i des produits il est donc nécessaire de connaître les facteurs $K_{i/e}$ de réponse par rapport à l'étalon interne. Ces coefficients ont été calculés pour les différents témoins dont la pureté a d'abord été estimée après chromatographie en phase gazeuse par le pourcentage de surface totale. La principale source d'erreur a lieu lors des pesées et des dilutions; l'intégrateur donne par contre des résultats relativement reproductibles. Nous avons pesé à la balance de précision et à l'aide d'une pipette des quantités pouvant varier entre 40 et 50 mg d'étalon et de témoins n'interférant pas entre eux par les pics d'impuretés. On ajuste à 50 ml dans une fiole jaugée avec du pentane bidistillé. On obtient une première série de coefficients $K_{i/e}$.

Nous nous sommes permis d'extrapoler les K_i des pics inconnus (tab. 14) par la formule empirique suivante, établie à partir des valeurs des coefficients de monoterpènes non oxydés, de cétones terpéniques, et de phénylpropènes peu oxydés:

$$K_{i/e} = 0,64 + 7,13 \times 10^{-5} \times t, \quad t \text{ étant le temps de sortie en secondes}$$

Ces valeurs permettent d'estimer à nouveau la pureté des témoins. D'où une deuxième série de coefficients (tableau 13).

Si les coefficients tendent à augmenter avec le temps de sortie, les valeurs trouvées dans notre laboratoire suggèrent aussi des K_1 voisins pour des composés apparentés chimiquement. On constate en effet que le K_1 du myrcène, terpène acyclique, est nettement plus élevé que ceux de l' α -phellandrène, du limonène et du γ -terpinène, terpènes monocycliques. Le coefficient obtenu pour la fenchone (0.81) est proche de celui d'autres cétones comme la carvone (0.83) et les dihydrocarvones (0.82). Mais le sabinène a un K_1 de 0.84, nettement plus élevé que d'autres terpènes bicycliques comme le camphène et les pinènes (0.67).

6) Expression des résultats

Les teneurs et pourcentages des différents constituants sont généralement donnés dans l'ordre de sortie des pics. Certains auteurs ajoutent parfois les valeurs correspondant au total des terpènes, des phénylpropènes, des composés oxygénés, voire de terpènes supposés apparentés biosynthétiquement, etc... Mais notre méthode ne permet pas une séparation suffisante des composés, qui n'ont pu être déterminés par des techniques spectrométriques appropriées.

Nous avons calculé le pourcentage de composés sortant avant l'estragole, qui semble correspondre à celui des terpènes; les pics peu importants compris entre la fenchone et l'estragole pourraient être des terpènes oxygénés comme le linalol.

La mauvaise séparation des terpènes ne nous a pas encouragé à engager une analyse en composantes principales.

La somme des teneurs de l'ensemble des constituants a été calculée en tenant compte des coefficients K_1 et donne la teneur en essence, qu'on a rapportée à 1000 akènes et à 100 grammes de matière sèche et fraîche. Plusieurs extractions ont été effectuées pour quelques échantillons et ont montré que le profil de l'essence variait généralement peu, contrairement à la teneur; c'est pourquoi nous n'avons pas jugé utile d'indiquer les teneurs des différents constituants; on peut néanmoins facilement les calculer à partir des pourcentages et de la teneur en essence totale.

3) Culture en champ

Plusieurs séries de semis ont été réalisées dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences et Techniques de Lille en 1983, et à Longwy, en

Meurthe-et-Moselle, en 1986 et 1987. Une germination a été obtenue pour les échantillons suivants:

- semis du 28/3/1983: n° 1, 3, 8, 10-12, 15, 17, 18, 21, 28, 33, 35, 37-41, 44, 45, 47-51, 55, 56, 58, 60-65, 68, 69, 73, 75, 79, 80, 94, 99, 101, 109-112
- semis du 6/5/1983: n° 9, 54, 70, 72, 92, 100, 105
- semis du 1/7/1983: n° 59, 60, 77, 90
- semis début 8/1986: n° 5, 81
- semis du 6/5/1987: n° 29-32, 81, 82, 84-91

Nous avons utilisé pour chaque échantillon un gobelet en plastique numéroté et muni d'une étiquette permettant d'éviter toute confusion. Le fond des gobelets est percé et rempli d'un peu de sable afin d'assurer un bon écoulement de l'eau. On ajoute ensuite un mélange de sable et de terre du jardin d'essais, afin que les plantules s'habituent au sol dans lequel on les transplantera. On dépose sur le mélange bien tassé un nombre connu d'akènes et de diakènes, que l'on recouvre d'un peu de terre fine. Les gobelets sont alors placés dans une couche remplie de sable, recouverts d'une fine couche de sable et copieusement arrosés (planche 2, photo 10). Le sable est maintenu humide; nous avons utilisé à Lille un châssis de verre recouvert d'un treillis en plastique afin d'éviter les excès d'ensoleillement.

Les plantules ont été observées à une ou 2 reprises. Leur hypocotyle tend à augmenter de taille si le nombre de fruits réussissant à germer par gobelet est élevé. Utiliser un pot par akène aurait cependant nécessité beaucoup de place et nous ne voulions mettre en évidence que les grosses différences de caractères.

La première série de semis a été repiquée le 2-3/6 et la deuxième le 7/7/1983; les autres séries avaient pour unique but l'observation des plantules. Les distances de plantation sont respectivement de 50 cm entre les rangs et de 50 cm sur la ligne. Le sol est pauvre, glaiseux, non plan, irrégulièrement ombragé, amendé par du fumier de mouton de manière hétérogène et présente un mauvais écoulement de l'eau.

On arrose et on désherbe régulièrement jusqu'à la récolte des graines, réalisée au fur et à mesure du mûrissement des ombelles. Nous n'avons pas fait d'apport d'engrais. Nous avons été obligé d'employer du tue-limaces le 1/7, et de vaporiser un insecticide (lindane) au moment de la formation des fruits, suite à un nombre important de pucerons. Ces derniers ne causent pas de problèmes pendant les premiers stades de croissance, en raison de la

présence de larves et d'adultes de coccinellidés. En fin de végétation, nous avons ôté manuellement quelques chenilles, celles de *Papilio machaon* L. pouvant dévorer plusieurs ombelles par jour. Seuls les pieds n° 56b et 61b présentaient début septembre des signes de phomopsidiose.

4) Observations histologiques

a) Fixation

Des fragments de feuilles ont été mis en contact pendant ≈20 heures avec un fixateur dans des flacons numérotés, dont plusieurs heures sous un vide obtenu par une pompe à eau, afin de favoriser le départ d'air.

Nous avons utilisé le "fixateur de Meves", constitué de 15 volumes de solution aqueuse à 1% de CrO_3 et 4 volumes de solution aqueuse de tétraoxyde d'osmium, OsO_4 , à 2 %. Nous déconseillons l'emploi de ce dernier produit, censé colorier en noir le contenu des canaux sécréteurs et permettre leur repérage. En effet, leur localisation ne pose aucun problème dans le cas des feuilles; de plus, les cristaux de tétraoxyde d'osmium sont volatils, dangereux pour les muqueuses, de coût élevé, et la coloration noire nous a plutôt gêné pour la mesure, au micromètre oculaire, du diamètre interne des canaux sécréteurs, du fait de la forte épaisseur de nos coupes histologiques.

La fixation est suivie d'un rinçage par 4 bains d'eau.

b) Deshydratation

Nous avons effectué les bains suivants:

- alcool 25 % : 1 bain de 1h
- alcool 50 % : 1 bain de 3h
- alcool 70 % : 1 bain de 3h
- alcool 90 % : 3 bains de 3h
- alcool absolu: 1 bain de 2h
- alcool absolu traité avec CuSO_4 , afin d'éliminer d'éventuelles traces d'eau; 2 bains de plus de 6h, le flacon étant obturé par un bouchon de liège

c) Inclusion

Nous avons utilisé avec succès le procédé de Mayer et Giesbrecht (voir LANGERON, 1949): on verse dans un flacon une première phase constituée par un dissolvant de la paraffine, l'essence de cèdre, sur environ 1.5 cm de hauteur; puis, à l'aide d'une pipette, on ajoute un même volume d'alcool absolu deshydraté de manière à former une interface entre les 2 liquides.



Le matériel végétal est placé dans la phase alcoolique et par gravité va s'imprégner progressivement d'essence de cèdre. Le flacon est obturé par un bouchon de liège.

Une fois les fragments tombés au fond du flacon, la phase alcoolique est retirée à la pipette et on effectue les bains suivants:

essence de cèdre: 3 bains d'au moins une heure; les 2 premiers ne sont pas récupérables et le troisième peut servir pour conserver les échantillons

essence de cèdre + même volume de paraffine, afin d'éviter des contractions; 1 bain de 24h à l'étuve à 58 °C

paraffine; 3 bains de 24h à l'étuve à 58 °C

Nous avons utilisé, sur les conseils de GAUTHERET, un mélange à volume égal de 2 paraffines de points de fusion différents: 46-48 et 51-53 °C (Merck).

Les fragments sont inclus dans des blocs de paraffine étiquetés que l'on coule entre 2 barres d'aluminium posées sur une plaque de verre.

d) Coupe

Chaque bloc est taillé, appliqué sur le porte-objet chauffé d'un microtome, puis luté, refroidi sous eau (LANGERON, 1949).

L'obtention de "rubans" est une opération délicate, qui dépend de la position du bloc par rapport au rasoir, de l'inclinaison du tranchant du couteau, de la température et de l'humidité ambiante, de la taille du bloc, de la qualité de l'inclusion, du rythme de coupe, etc... Nous avons effectué des coupes de 40 μ ; nous pensions à cette épaisseur pouvoir suivre facilement le trajet des canaux sécréteurs.

e) Montage

Sur une lame de microscope, on dépose quelques gouttes d'une solution obtenue par chauffage d'un peu de gélatine avec de l'eau, puis un ruban. Après passage sur une platine chauffante à 35 °C, les coupes doivent reprendre leur longueur initiale.

Les lames sont gravées d'un signe de reconnaissance à l'aide d'un crayon à diamant, séchées à l'étuve, et montées à l'"euparal". Les coupes sont délimitées au feutre noir. La coloration n'est pas nécessaire pour nos observations.

5) Hybridations

Elles ont été réalisées manuellement: on commence par ensacher plusieurs rameaux dont les ombelles ne sont pas encore visibles sur un même pied de façon à éviter que des grains de pollen extérieurs ne viennent se déposer sur l'ombelle en formation. Afin de ne pas entraver la croissance des rameaux il est nécessaire de déplacer régulièrement les sachets de papier sulfurisé.

Ces derniers ont été percés de petits trous pour éviter une humidité trop importante. Après une forte pluie, on peut être amené à les remplacer. Ils sont maintenus autour de la tige par un élastique; nous déconseillons de placer à ce niveau du coton, qui tend à pourrir par temps humide. Une tige de roseau permet d'éviter que les rameaux ne fléchissent sous le poids des sachets.

L'émasculature des fleurs de fenouil a déjà été réalisée (CHAUDHRY, 1961; CHINGOVA-BOJADZHIEVA, 1969) et ne pose pas de gros problèmes: à l'aide d'une pince fine, il est relativement aisé d'enlever les étamines, qui partent avec les pétales. Mais cette opération n'est pratique que si les fleurs ont atteint une certaine taille, alors que les pétales sont encore verts et que les anthères commencent à jaunir. Comme les fleurs de l'ombelle ne se développent pas toutes en même temps, nous nous y sommes repris à plusieurs fois.

Nous avons attendu que la majorité des fleurs émasculées commencent à sécréter un abondant nectar pour réaliser l'hybridation: à l'aide d'une pince fine nous avons recueilli sur le parent mâle plusieurs étamines avec leurs anthères et nous les avons frottées contre les styles à polliniser ainsi que sur les stylopoïdes gluants, auxquels elles ne tardent pas à adhérer.

6) Calculs statistiques

Les résultats qui suivront ont été analysés statistiquement. Nous indiquons ci-dessous les formules qui ont été utilisées.

- Nous nous sommes servi du test du χ^2 pour pouvoir éventuellement rejeter l'hypothèse d'une distribution expérimentale tirée d'une population suivant la loi normale.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - T_i)^2}{T_i}$$

avec O_i : effectif observé
 T_i : effectif théorique

La probabilité d'avoir, l'hypothèse étant vraie, une valeur de χ^2 supérieure ou égale à celle qui a été calculée est donnée dans une table de distribution de χ^2 .

- \bar{x} étant la moyenne, et n le nombre de mesures, nous avons calculé l'écart-type estimé s , l'intervalle de confiance IC, et le coefficient de variation CV.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i^2) - (\bar{x}^2 \times n)}{n-1}} \quad \text{IC} = t_{0,05} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{CV} = \frac{s}{\bar{x}}$$

$t_{0,05}$ est la valeur donnée par la table de t pour le risque de 0.05 % et $(n-1)$ degrés de liberté.

- Nous avons aussi calculé les coefficients de corrélation linéaire r des caractères pris 2 à 2.

$$r = \left(\frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \right) / \left(\sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2} \times \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2} \right)$$

- Nous avons comparé les moyennes \bar{x}_A et \bar{x}_B de 2 séries expérimentales A et B: on teste les hypothèses d'une différence des moyennes nulle ou non; on utilise la loi de Student, les effectifs n_A et n_B des échantillons étant faibles; s^2 désigne l'estimation de la variance, supposée commune:

$$t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{s^2}{n_A} + \frac{s^2}{n_B}}} \quad \text{avec} \quad s^2 = \frac{\sum_1^{n_A} (x_i - \bar{x}_A)^2 + \sum_1^{n_B} (x_i - \bar{x}_B)^2}{n_A + n_B - 2}$$

La différence entre les 2 moyennes est significative lorsque la valeur de t est supérieure à celle lue dans la table de distribution de Student-Fisher au seuil de 5 % avec un degré de liberté égal à $n_A + n_B - 2$.

II CARACTERES DIFFERENTIELS DES 113 LOTS

1) Essence des fruits

a) Introduction

L'essence des semences nous a permis une distinction plus facile des échantillons de fenouils que les observations en champ. Aussi préférons nous aborder tout de suite les analyses par chromatographie en phase gazeuse. L'étude des fruits est pratique: conservation aisée, analyse à n'importe quel moment de l'année, tri rapide permettant de ne retenir pour l'extraction que les akènes bruns, et donc d'approcher une certaine homogénéité physiologique.

En se basant principalement sur les pourcentages d'estragole et d'anéthole, les 113 lots de fenouil peuvent être divisés en 9 groupes. La richesse en essence sera dite faible (moins de 3 g/100g de matière sèche), moyenne, ou forte (plus de 5 g/100g de matière sèche):

	lots
traces ou absence de trans-anéthole et d'estragole	
présence de 2 pics sortant à 174 et 177 °C.....	1-3
absence de ces pics, présence de myristicine.....	4-5
présence en quantité importante de trans-anéthole et (ou) d'estragole	
% d'estragole nettement supérieur à celui de trans-anéthole	
% de limonène+β-phellandrène faible, teneur en essence assez élevée.....	6-28
% de limonène+β-phellandrène élevé, faible teneur en essence.....	29-32
% d'estragole du même ordre que celui de trans-anéthole ou plus faible, mais >5%....	33-48
% d'estragole nettement inférieur à celui de trans-anéthole et <5%	
rapport α-pinène/limonène+β-phellandrène >1, teneur souvent élevée.....	49-67,69-77
rapport α-pinène/limonène+β-phellandrène <1	
fenouils ne provenant pas d'Asie orientale, non bulbeux.....	68,78-85
fenouils provenant d'Asie orientale, faible teneur en essence.....	86-93
fenouils bulbeux, faible teneur en essence.....	94-113

b) Echantillons 1-3

Les fruits de ces 3 fenouils "*piperitum*" du sud de la France et d'Italie n'ont rien d'amer, et rappellent fortement le citron. L'essence des akènes a un profil particulier (tab. 15, fig. 9), jamais rapporté dans la littérature. L'estragole et le trans-anéthole sont absents. Sur les 10 pics détectés, 2 sont inhabituels à l'essence de fenouil et sortent à 174 et 177 °C; nous les appellerons A et B. Le limonène est le principal composé et son pic ne présente aucun chevauchement, d'où un pourcentage de β -phellandrène faible ou nul. Le β -pinène et le camphène sont absents et on a moins de 3.5 % de fenchone. Par contre le pic du γ -terpinène et celui sortant à 100 °C dépassent 3.2 %, le γ -terpinène atteignant même 16.7 % pour le lot n°1.

La saveur et l'odeur de citron nous ont conduit à comparer la sortie des pics A et B avec celles du nérol, du citral, du nérolidol et du citronellol. Mais aucun de ces composés, réputés posséder une odeur citronnée, ne correspond aux 2 pics; le témoin nérolidol sort juste après le pic B. Nous pensons que le goût et l'odeur sont dus au principal constituant, le limonène. On aurait surtout du l-limonène, d'odeur de citron, au lieu de l'isomère dextrogyre, qui rappelle l'orange (FRIEDMAN et MILLER, 1971).

Les composés sortant avant l'estragole constituent la majorité de l'essence (tab. 16). Le pourcentage d'eau et de lipides est variable de même que la teneur en essence, moyenne pour le lot n°1 et faible pour les 2 suivants.

c) Echantillons 4-5

Ces 2 lots proviennent de régions assez proches géographiquement: Portugal et nord-ouest du Maroc. Leurs fruits ont une saveur qui nous fait penser un peu à celle des semences de persil. L'essence est remarquable par un fort taux de myristicine (tab. 17, fig. 9): par chromatographie d'un mélange de l'essence des fruits du lot n°5 et de celle, riche en myristicine et apiole, de semences d'un persil marocain, il apparaît clairement que le pic sortant à 4450 secondes coïncide bien avec celui de la myristicine. Les fruits de Rabat diffèrent de ceux du Portugal par la présence d'un peu d'estragole et de trans-anéthole et par un pic sortant à 184 °C, qui pourrait être de l'anisaldéhyde.

n°	origine	α -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène	γ -terpinène	p-cymène	pic à 100°C	fenchone	pic A	pic B
1	Cannes, Alpes-Maritimes	0,9	0,5	2,9	36,0	16,7	1,7	6,1	3,5	0,8	31,0
2	Marino, Italie	0,8	0,3	2,4	49,4	6,8	2,6	3,2	0,2	1,0	33,0
3	Mèze, Hérault	0,5	0,2	2,8	42,3	8,4	1,0	6,7	1,9	1,8	34,4
	moyenne \bar{x}	0,7	0,3	2,7	42,6	10,6	1,8	5,3	1,9	1,2	32,8

Tableau 15: Profil de l'essence des akènes de fenouils, dénuée d'anéthole et d'estragole, et présentant 2 pics indéterminés A et B.

n°	origine	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de composés sortant avant l'estragole	α -pinène / limonène + β -phell.
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
1	Cannes, Alpes-Maritimes	90	4,6	2,9	34	68,3	0,03
2	Marino, Italie	65	2,6	1,8	28	66,0	0,02
3	Mèze, Hérault	85	2,9	2,3	18	63,8	0,01
	moyenne \bar{x}	80	3,4	2,4	27	66,0	0,02
4	Portugal	45	3,4	2,4	27	17,0	4,45
5	cultivé près de Rabat, Maroc	60	3,8	2,9	19	53,4	2,26

Tableau 16: Caractéristiques de l'essence des akènes de fenouils présentant peu ou pas d'anéthole et d'estragole.
MF, MS: matière fraîche, matière sèche

n°	origine	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	l-terpinène	fenchone	pic à 121°C	pic à 128°C	linalol	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde?	myristicine
4	Portugal	8,4	0,0	0,4	0,0	1,7	1,9	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,0
5	Rabat, Maroc	17,8	0,4	1,0	0,6	4,8	7,9	0,2	19,4	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	10,0	35,4

Tableau 17: Profil de l'essence des akènes de 2 fenouils, remarquable par un fort taux de myristicine.

Les 2 lots présentent du camphène et du sabinène et ont pour principaux terpènes l' α -pinène et la fenchone. La teneur en essence est moyenne et le rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne élevé (tab. 16). Ces 2 fenouils diffèrent par la quantité de monoterpènes, 3 fois plus importante pour l'échantillon du Maroc.

d) Echantillons 6-32

Les fruits des lots 6-32 rappellent faiblement l'anis, en raison de la présence de trans-anéthole (jusqu'à 25.8 % pour le lot n°30) et de l'odeur et de la saveur légèrement anisées de l'estragole. Les semences des lots 6-28 ont une saveur plutôt amère. Elle est probablement due à la fenchone, rencontrée en quantité non négligeable. On attribue à ce terpène une saveur amère et une odeur camphrée.

L'estragole est le principal composé (tab. 18 et 19), sauf pour le fenouil fourni par le Jardin Botanique irlandais de Glasnevin où le constituant majoritaire de l'essence des semences est la fenchone. Le lot n°6 est encore remarquable par un taux élevé d' α -pinène (12.3 %) et de p-cymène (4.5 %).

La teneur en estragole, nettement supérieure à celle du trans-anéthole, caractérise ces échantillons. L'estragole varie de 27.8 (n°6) à 80.9 % (n°17) et le trans-anéthole, non détecté pour les lots 16 et 28, peut néanmoins dépasser 20 % (n°11, 13, 30, 32).

n°	origine dénomination	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
6	Jardin Botanique, Glasnevin	12,3	0,5	0,5	0,0	1,7	2,8	0,7	4,5	35,8	0,6	27,8	9,9	1,5	1,4
7	Vannes, Morbihan	8,0	0,3	0,5	0,4	2,5	2,6	0,4	0,0	19,5	0,4	58,6	6,7	0,0	0,0
8	Huy, Belgique, <i>vulgare</i>	7,4	0,2	0,5	0,4	2,4	2,5	0,5	0,1	17,6	0,3	67,7	0,2	0,0	0,0
9	Amay, Belgique, <i>vulgare</i>	5,2	0,3	0,2	0,2	2,8	2,8	0,5	0,0	26,3	0,3	55,6	4,8	0,0	0,0
10	Jardin Botanique de Wisley	6,4	0,4	0,4	0,4	3,2	3,5	0,9	0,2	32,8	0,5	39,3	17,9	0,0	0,0
11	Félines-Minervois, Hérault	3,5	0,2	0,3	0,3	1,2	2,1	0,3	0,1	13,1	0,3	48,9	20,6	2,4	5,5
12	Jardin Botanique de Wisley	4,9	0,4	0,3	0,3	2,8	3,1	0,7	0,1	28,3	0,5	48,8	9,3	0,0	0,0
13	Rennes, Ille-et-Vilaine	5,6	0,4	0,3	0,4	2,8	3,8	0,3	0,1	29,5	0,5	34,4	21,4	0,0	0,0
14	Jardin Botanique, Bordeaux	5,0	0,2	0,3	0,4	2,4	3,6	1,3	0,0	16,2	0,4	65,8	4,4	0,0	0,0
15	Jardin Botanique, Bordeaux	4,9	0,3	0,3	0,3	2,3	3,6	1,2	0,0	15,4	0,2	65,5	5,6	0,0	0,0
16	Fréjus, Var, <i>piperitum</i>	7,4	0,5	0,1	0,9	5,5	5,5	1,8	0,2	27,9	0,6	49,0	0,0	0,0	0,0
17	Roccastrada, Italie	2,6	0,0	0,0	0,2	2,1	2,1	0,5	0,0	11,2	0,3	80,9	0,0	0,0	0,0
18	Allauch, Bouches-du-Rhône	2,4	0,3	0,1	0,3	2,7	3,3	1,0	0,0	18,5	0,4	58,7	11,8	0,0	0,0
19	Aniane, Hérault	2,7	0,5	0,1	0,3	3,3	6,4	0,9	0,1	29,9	0,6	51,7	2,9	0,0	0,0
20	Abbaye de Valmagne, Hérault	2,2	0,5	0,1	0,3	2,7	5,3	0,8	0,1	29,1	0,5	54,7	3,2	0,0	0,0
21	Vias, Hérault	2,4	0,4	0,1	0,4	2,5	6,0	1,2	0,1	22,7	0,5	59,8	3,3	0,0	0,0
28	Conques-sur-Orbiel, Aude	2,8	0,4	0,1	0,1	2,3	7,5	0,7	0,1	29,6	0,5	55,4	0,0	0,0	0,0
	moyenne \bar{x}	5,0	0,3	0,3	0,3	2,7	3,9	0,8	0,3	23,7	0,4	54,3	7,2	0,2	0,4

Tableau 18: Profil de l'essence, riche en estragole et en fenchone, des akènes de 17 fenouils classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène/limonène.

n°	origine dénomination	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
29	condimentaire, Ducros	2,5	0,0	0,0	0,5	1,2	16,0	0,7	0,1	3,7	0,0	73,8	0,8	0,0	0,0
30	Northrup King Seeds, <i>dulce</i>	2,0	0,0	0,0	0,2	0,8	14,2	0,0	0,0	3,7	0,0	59,2	25,8	0,0	0,0
31	condimentaire, Mac Cormick	2,3	0,0	0,0	0,4	0,6	16,9	0,3	0,2	2,6	0,1	75,3	0,6	0,1	0,0
32	condimentaire, Pacha	2,1	0,0	0,0	0,3	0,4	18,8	0,5	0,9	4,7	0,1	41,2	25,4	3,2	1,8
	moyenne \bar{x}	2,2	0,0	0,0	0,4	0,8	16,5	0,4	0,3	3,7	0,1	60,8	13,2	0,8	0,5

Tableau 19: Profil de l'essence des akènes de 4 fenouils du commerce; à faible teneur en huile essentielle riche en estragole et en limonène

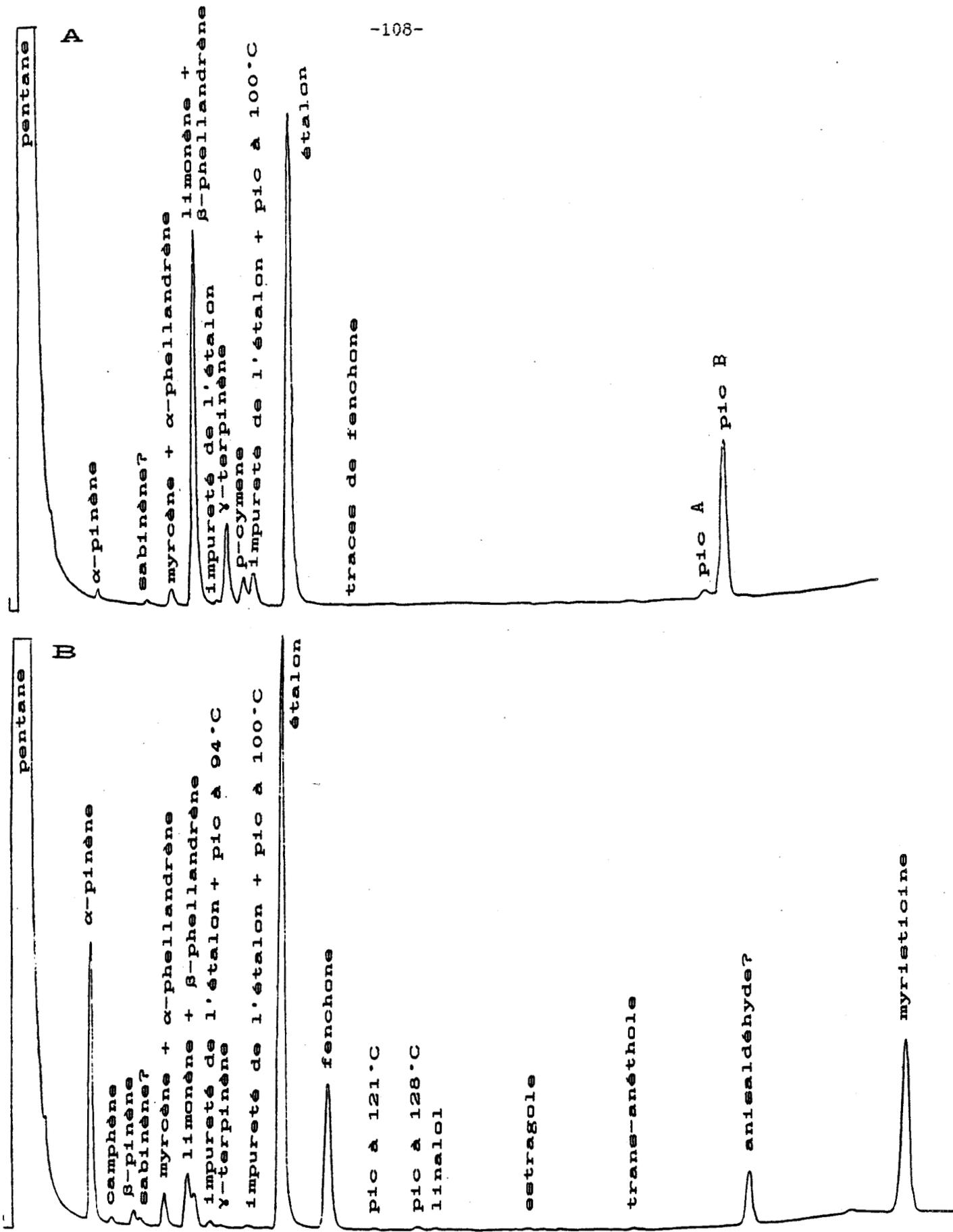


Figure 9: Chromatogramme en phase gazeuse de l'essence des akènes des lots:
A: n°2, correspondant à un fenouil récolté près de Rome
B: n°5, correspondant à un fenouil cultivé près de Rabat au Maroc

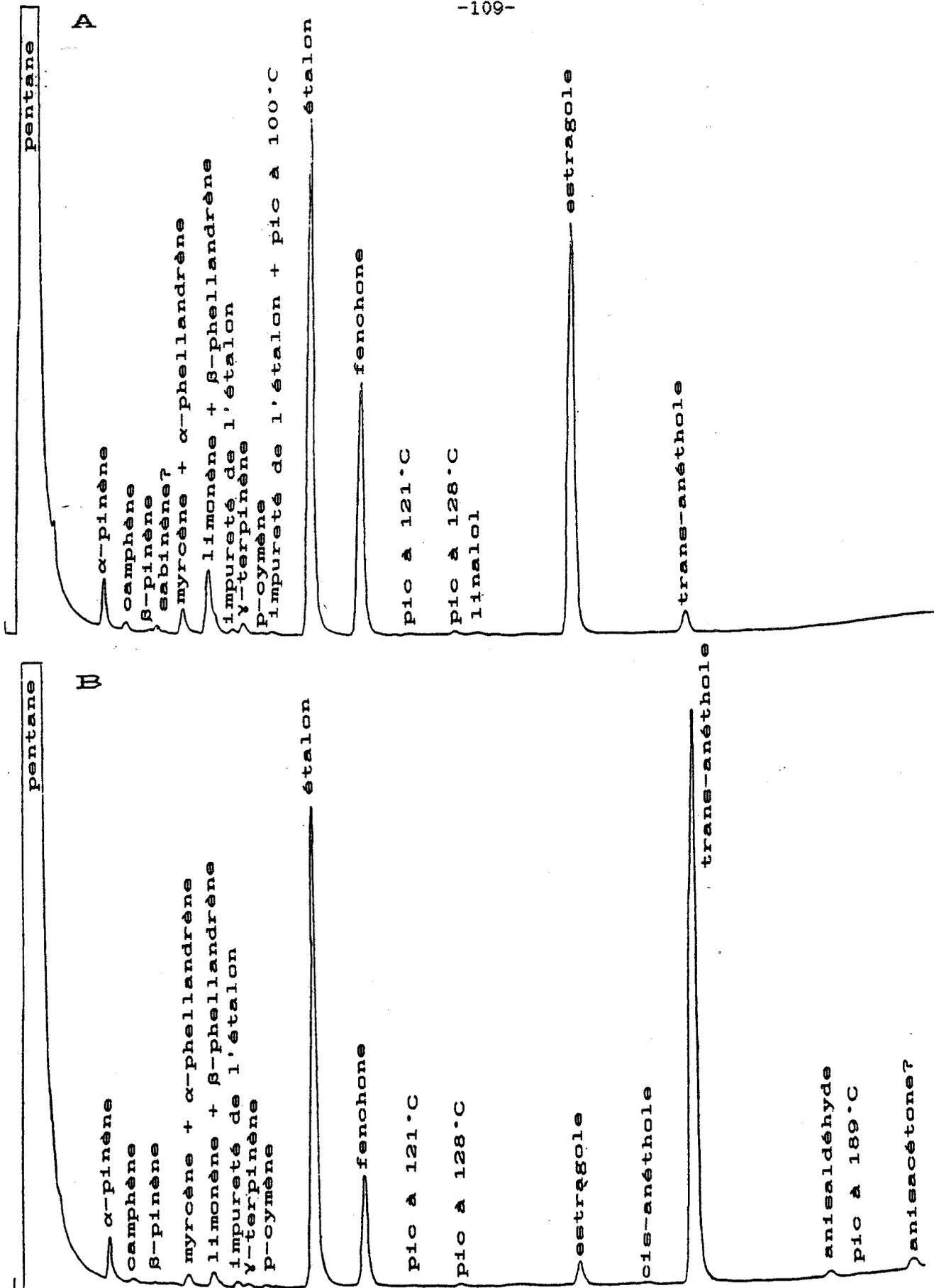


Figure 10: Chromatogramme en phase gazeuse de l'essence des akènes des lots:

- A : n°19, correspondant à un fenouil récolté au lieu dit "le pont du diable", à 4 km d'Aniane, dans l'Hérault
- B : n°63, correspondant à un fenouil fourni par le Jardin botanique de Brno, en Tchécoslovaquie

Outre les particularités du lot n°6, les profils permettent de distinguer 2 groupes (tab. 18 et 19):

- lots 6-21 et 28, correspondant à des échantillons européens souvent sauvages; les échantillons 22-27 de l'Hérault seront abordés ultérieurement.

- lots 29-32, commercialisés en France ou aux Etats-unis.

L'essence du 1^{er} groupe présente plus de fenchone (11.2-35.8 contre 2.6-4.7%) et moins de limonène + β -phellandrène (2.1-7.5 contre 14.2-18.8 %). Le pourcentage de β -phellandrène du 2^{ème} groupe doit être faible, car nous n'avons pas observé de chevauchement avec le pic de limonène.

Les lots 29-32 se caractérisent encore par leur faible teneur en α -pinène (2.0-2.5 contre 2.2-12.3 %), en myrcène + α -phellandrène (0.4-1.2 contre 1.2-5.5 %), par leurs traces de camphène, de β -pinène, et par un pic du composé sortant à 128°C moins important, voire non détecté (n°29 et 30).

L'anisaldéhyde et l'anisacétone sont observés en quantité non négligeable dans les lots 6, 11 et 32.

Les 2 groupes se distinguent aussi par la richesse en essence (tab.20). Les lots 29-32 ont une teneur faible, inférieure à 2.4 g/100 g de matière sèche, alors que le premier groupe a, dans l'ensemble, une teneur moyenne ou élevée, atteignant 9.5 g/100 g de matière sèche pour un fenouil sauvage de Bretagne (n°7). Seul le lot n°16 présente peu d'essence, quel que soit son mode d'expression, mais il faut remarquer qu'au départ un seul pied a été récolté à Fréjus dans le Var par Monsieur Alziar.

Les lots 29-32 ont encore un faible rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène et un plus faible taux de terpènes, de 24.6 contre 37.8 % (tab. 20). Le pourcentage d'eau et de lipides des lots 6-32 varie du simple au double.

e) Echantillons 33-48

Les fruits de ces 16 lots ont une saveur nettement plus anisée que précédemment, mais encore quelque peu désagréable; il semble que le goût amer de la fenchone soit plus ou moins masqué par celui du trans-anéthole. Nous avons introduit dans ce groupe des échantillons dont l'essence des fruits présente plus de 5% d'estragole et moins ou autant de ce composé que de trans-anéthole.

	n°	origine dénomination	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α -pinène / limonène + β -phell.
			mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
α -pinène/ limonène + β -phellandréne $\geq 0,4$	6	Jardin Bot. de Glasnevin *	100	4,0	2,8	27	59,4	4,3
	7	Vannes, Morbihan	240	9,5	6,6	24	34,7	3,1
	8	Huy, Belgique, <i>vulgare</i>	140	5,2	3,6	27	32,1	3,0
	9	Amay, Belgique, <i>vulgare</i>	145	6,9	4,7	27	39,0	1,8
	10	Jardin Botanique de Wisley	105	7,9	5,6	24	42,7	1,8
	11	Félines-Minervoises, Hérault	70	3,1	2,5	16	21,5	1,6
	12	Jardin Botanique de Wisley	130	7,5	5,3	23	41,9	1,6
	13	Rennes, Ille-et-Vilaine	135	6,5	5,0	19	44,2	1,5
	14	Jardin Botanique, Bordeaux *	85	6,5	4,7	24	29,8	1,4
	15	Jardin Botanique, Bordeaux	90	6,5	4,6	24	28,6	1,4
	16	Fréjus, Var, <i>piperitum</i> *	15	1,5	1,2	17	51,0	1,3
	17	Roccastrada, Italie	80	5,3	3,3	34	19,1	1,3
	18	Allauch, Bouches-du-Rhône	105	5,5	3,9	25	29,1	0,7
19	Aniane, Hérault	85	6,0	4,4	22	45,4	0,4	
20	Abbaye de Valmagne, Hérault	70	4,9	3,8	18	42,0	0,4	
21	Vias, Hérault	105	4,8	3,7	19	36,9	0,4	
28	Conques-sur-Orbiel, Aude	125	6,7	4,5	27	44,6	0,4	
		moyenne \bar{x}	105	5,8	4,1	23	36,8	1,6
α -pinène/limonène < 0,4	29	condimentaire, Ducros	95	2,1	1,6	21	25,3	0,2
	30	Northrup King Seeds, <i>dulce</i>	75	2,4	1,8	24	21,2	0,1
	31	condimentaire, Cornick	80	2,0	1,5	23	24,0	0,1
	32	condimentaire, Pacha	60	1,4	1,1	21	27,8	0,1
		moyenne \bar{x}	75	2,0	1,5	22	24,6	0,1

Tableau 20: Caractéristiques de l'essence, présentant plus d'estragole que de trans-anéthole, des akènes de 21 fenouils classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne.
MF, MS: matière fraîche, matière sèche
*: faible échantillonnage

n°	origine dénomination	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
33	Vila Franca, Portugal	9,5	0,1	2,0	0,3	1,8	1,7	0,7	0,1	8,1	0,2	10,0	64,9	0,1	0,2
34	<i>F. scoparium</i> Quézel *	4,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	14,6	0,4	26,1	26,8	11,5	11,7
35	cultivé, Chaouen, Maroc	10,4	0,2	0,6	0,4	2,5	3,1	0,2	0,1	7,3	0,2	9,3	64,4	0,3	0,3
36	"Budakalászi" *	4,5	0,2	0,3	0,0	1,0	2,0	0,9	0,5	17,5	0,3	6,7	63,6	0,9	1,4
37	Institut de Budakalász *	5,2	0,3	0,2	0,1	0,8	2,4	0,5	0,6	21,3	0,4	12,1	52,5	1,2	1,8
38	Hongrie, "Budakalászi"	4,5	0,3	0,3	0,1	1,2	2,6	0,3	0,2	20,0	0,4	19,1	47,8	0,9	1,6
39	Belgique	3,6	0,3	0,1	0,1	2,3	2,1	0,4	0,0	21,4	0,5	9,0	59,9	0,0	0,0
40	Strasbourg-Robertsau	4,4	0,2	0,3	0,3	1,9	2,7	0,5	0,3	16,9	0,3	38,8	32,2	0,6	0,6
41	"bronzed leaved form"	6,0	0,4	0,3	0,5	3,2	3,7	0,9	0,1	33,5	0,5	26,1	24,1	0,0	0,0
42	Jardin Botanique de Debrecen	3,0	0,2	0,1	0,1	2,2	2,3	0,3	0,0	22,0	0,4	5,2	64,0	0,0	0,0
43	Lantenay, Côte-d'Or	2,4	0,3	0,1	0,3	1,8	2,5	0,7	0,0	19,1	0,4	24,8	47,2	0,0	0,0
44	Rama Calda, Argentine	1,2	0,1	0,1	0,2	1,4	1,3	0,7	0,1	8,8	0,2	24,1	61,6	0,0	0,0
45	<i>piperitum</i>	2,0	0,2	0,8	0,3	1,4	2,5	0,3	0,1	14,7	0,3	35,9	39,6	0,6	0,9
46	Jardin Botanique, Nantes *	1,9	0,2	0,0	0,3	1,0	2,5	0,5	0,1	17,9	0,3	40,3	34,8	0,0	0,0
47	Jardin Botanique de Madrid	1,9	0,3	0,1	0,3	1,5	3,6	0,4	0,2	13,8	0,3	23,5	53,1	0,4	0,4
48	Luján de Cuyo, Argentine	1,2	0,2	0,1	0,2	1,5	2,2	0,2	0,0	8,3	0,2	40,7	45,1	0,0	0,0
	moyenne \bar{x}	4,1	0,2	0,3	0,2	1,6	2,4	0,5	0,2	16,6	0,3	22,0	48,9	1,0	1,2

Tableau 21: Profil de l'essence, riche en anéthole et présentant plus de 5 % d'estragole, des akènes de 16 fenouils.
*: faible échantillonnage

Nous admettons que les lots 33-48 ne sont pas très homogènes, avec 5.2-40.7 % d'estragole et 24.1-64.9% de trans-anéthole (tab. 21).

Des extractions ont été répétées pour quelques lots et font apparaître des différences de profil de l'essence des fruits. Considérons par exemple le lot n°41, qui correspond à un fenouil ornemental aux feuilles brun-rougeâtre; nous obtenons des teneurs variables en phénylpropènes pour les 3 extractions suivantes:

nombre d'akènes	estragole	cis-anéthole	trans-anéthole
90	23,4 %	non détecté	26,2 %
157	27,9 %	0,1 %	22,7 %
85	35,1 %	non détecté	18,4 %

Ces différences nous ont conduit à étudier dans le chapitre III l'importance de la variabilité de l'essence pour une même origine.

Dans ce groupe, nous avons inclus *Foeniculum scoparium* Quézel (n°34); comme on ne disposait que de quelques fruits, nous avons analysé séparément 4 akènes et nous donnons dans les tableaux 21 et 22 une moyenne des résultats. On trouve autant d'estragole que de trans-anéthole. Les forts pourcentages d'anisacétone (11.7%), d'anisaldéhyde (11.5%), et de composés sortant à 4270 (1.0%) et 3860 secondes (0.3%) impliquent une importante oxydation, sans doute favorisée par une longue conservation en herbier. L'essence des fruits de ce fenouil du Tibesti se distingue par un fort pourcentage de p-cymène, et par des traces de sabinène, myrcène + α -phellandrène et γ -terpinène.

Le lot n°33 du Portugal a 2.0 % de β -pinène, soit beaucoup plus que les autres échantillons. Le pic du limonène présente un épaulement visible dans un grand nombre de chromatogrammes, signant la présence de β -phellandrène. Ce dernier composé est présent en quantité suffisante pour permettre une intégration dans le cas des lots 33 et 35, pour lesquels on a respectivement 1.2 et 1.6 % de limonène, et 0.5 et 1.5 % de β -phellandrène. Le limonène et le β -phellandrène ne dépassent pas 3.7%. La fenchone atteint 33.5% et devient le principal constituant de l'essence des fruits du lot n°41. Les profils des lots 36 et 38, correspondant au cultivar "Budakalási", sont voisins; on note cependant une différence de pourcentage d'estragole (6.7 et 19.1%).

n°	origine dénomination	teneur en essence		g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α-pinène / limonène + β-phell.	
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS				g/100g de MF
33	Vila Franca, Portugal	95	5,6	4,1	24	24,6	5,6
34	<i>Foeniculum scoparium</i> Quézel*	115	3,4	3,0	8	22,2	5,0
35	cultivé, Chaouen, Maroc	40	3,6	2,7	22	25,5	3,3
36	"Budakalászi"	170	4,0	3,3	12	27,3	2,3
37	Institut de Budakalász *	200	3,6	2,9	30	31,8	2,2
38	Hongrie, "Budakalászi"	380	6,4	5,2	13	30,2	1,8
39	Belgique	285	8,8	5,9	28	30,9	1,7
40	Strasbourg-Robertsau	105	6,3	5,1	14	27,9	1,7
41	"bronzed leaved form"	120	7,1	5,3	19	49,5	1,6
42	Jardin Botanique de Debrecen	230	6,8	4,9	23	30,8	1,3
43	Lantenay, Côte-d'Or	190	10,5	6,8	28	27,9	0,9
44	Rama Calda, Argentine	115	5,2	4,1	16	14,2	0,9
45	<i>piperitum</i>	90	4,2	3,1	24	22,9	0,8
46	Jardin Botanique de Nantes *	145	4,8	3,7	20	24,9	0,8
47	Jardin Botanique de Madrid	80	5,9	4,5	19	22,5	0,5
48	Luján de Cuyo, Argentine	160	7,6	5,8	18	14,2	0,5
	moyenne \bar{x}	160	5,8	4,4	20	26,7	1,9

Tableau 22: Caractéristiques de l'essence des akènes de 16 fenouils présentant outre le trans-anéthole un pourcentage non négligeable d'estragole. Les lots sont classés dans l'ordre décroissant du rapport α-pinène /limonène + β-phellandrène

MF, MS: matière fraîche, matière sèche

*: faible échantillonnage

Les lots 33-48 possèdent une richesse en essence de moyenne à élevée (tab. 22). Il est possible que les 4 akènes analysés du fenouil du Tibesti aient perdu une partie de leur essence au cours de leur conservation en herbier, ce qui expliquerait qu'on ne trouve que 3.4 g par 100 g de matière sèche.

Le fenouil cultivé dans le nord du Maroc (n°35) possède les plus faibles teneurs rapportées à 1000 akènes ou à 100 g de matière fraîche. La quantité d'essence par 100 g de matière sèche ou fraîche est maximale pour le lot n°43, mais ce dernier n'en renferme que 190 mg par 1000 akènes. La teneur en essence par 100 g de matière fraîche ou sèche varie dans un rapport de 2 à 3. L'écart est nettement supérieur entre les 40 et 380 mg / 1000 akènes des lots 35 et 38.

On constate une richesse différente pour les échantillons n°36 et 38 correspondant au cultivar "Budakalászi"; c'est une raison supplémentaire pour distinguer les fenouils d'avantage par le profil que par la teneur en essence des fruits.

La teneur en eau et en lipides varie de 8 à 30 g par 100 g de matière fraîche.

Le pourcentage de terpènes passe de 14.2 à 49.5 %, soit du simple à plus du triple; on remarquera qu'il est le plus faible pour les 2 lots provenant d'Argentine (n°44 et 48). Le rapport α -pinène/ limonène + β -phellandrène va de 0.5 à 5.6; il est intéressant de noter un rapport du même ordre, inférieur à 1, pour les échantillons 45 et 47 provenant du Jardin Botanique de Madrid, et les lots 44 et 48 d'Argentine, ancienne colonie espagnole.

f) Echantillons 49-85

L'essence des fruits des lots restants présente plus d'anéthole que d'estragole et moins de 5% de ce dernier composé. Nous avons séparé les fenouils bulbeux du commerce, qui appartiennent sans conteste à la variété *azoricum*. Un fenouil cultivé à Hyde Park (n°113), qui s'est avéré, après culture dans les terrains d'essais de la Faculté de Lille, être un fenouil bulbeux a été également incorporé à ce groupe. Nous avons aussi mis de côté les échantillons d'Asie orientale, qui pourraient appartenir à la variété *panmorium*. Restent 33 lots, que nous avons classé dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène. En effet, d'après les observations de TÓTH (1967a,b), un rapport élevé devrait plutôt correspondre à la variété *vulgare*, et un rapport faible à la variété *dulce*. Nous avons distingué les lots 49-67 et 69-76, de rapport supérieur à 1, et les lots 68 et 78-85, de rapport inférieur à 1. Les lots 72-75 correspondent à plusieurs étapes d'un processus de sélection et seront étudiés dans le chapitre IV.

Le lot n°77, qui présente autant d' α -pinène que de limonène + β -phellandrène a été considéré à part, car son profil est particulier. En effet, contrairement aux autres échantillons, le principal constituant n'est pas le trans-anéthole mais la fenchone (tab. 23). Les 49.1 % de ce dernier composé sont responsables de la saveur forte des fruits, qui est aussi anisée de par la présence de 28 % de trans-anéthole. Le lot n°77

n°	origine dénomination	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
49	Californie *	8,4	0,2	0,6	0,0	0,3	1,9	0,0	0,2	14,4	0,3	3,1	55,0	4,5	9,5
50	J.B. de Fominianus 1980	7,9	0,2	0,5	0,1	1,8	2,0	0,4	0,1	19,4	0,4	2,3	63,9	0,1	0,2
52	Açores, non mûr *	10,6	0,3	0,6	0,6	1,0	3,1	0,7	0,3	10,2	0,2	2,4	69,7	0,1	0,1
53	cultivé en Hongrie, <i>dulce</i>	5,2	0,1	0,3	0,0	1,1	1,6	0,4	0,1	13,5	0,2	2,6	74,4	0,2	0,3
51	J.B. de Fominianus 1981	6,4	0,3	0,4	0,1	1,7	2,0	0,1	0,0	18,9	0,3	3,9	65,2	0,0	0,0
54	"deutscher Großfrüchtiger"	7,9	0,3	0,4	0,1	3,0	2,9	0,8	0,2	24,7	0,4	2,0	56,8	0,0	0,0
55	J.B. de Coimbra	9,5	0,2	0,8	0,4	1,7	3,6	0,4	0,0	14,2	0,3	2,6	65,9	0,0	0,0
56	J.B. de Bochum	5,0	0,3	0,3	0,3	2,1	2,3	0,2	0,0	18,8	0,3	2,4	67,5	0,0	0,0
57	Institut à Budakalász, <i>dulce</i>	4,1	0,2	0,2	0,0	0,7	1,9	0,1	0,7	28,1	0,6	3,1	30,2	8,0	18,3
58	Hongrie	3,1	0,2	0,2	0,2	1,5	1,4	0,4	0,0	12,5	0,2	3,3	76,8	0,0	0,0
59	Lens, Pas-de-Calais	3,8	0,2	0,2	0,2	2,1	2,0	0,8	0,0	16,8	0,3	2,7	70,4	0,0	0,0
60	Institut à Moscou *	4,7	0,3	0,2	0,2	1,9	2,6	0,5	0,2	22,2	0,4	2,3	63,7	0,2	0,2
61	Labos Yves Rocher *	4,3	0,3	0,2	0,1	2,5	2,5	0,5	0,0	21,8	0,4	2,4	64,5	0,0	0,0
62	Ampsin, Belgique * *	4,9	0,4	0,2	0,1	2,6	2,8	0,2	0,0	28,4	0,5	2,1	57,2	0,0	0,0
63	J.B. de Brno	2,4	0,2	0,1	0,0	1,3	1,4	0,3	0,2	13,0	0,3	3,1	75,9	0,6	0,9
64	J.B. de Brno, <i>dulce</i>	5,2	0,2	0,3	0,1	2,3	3,1	0,4	0,0	21,5	0,4	4,3	62,1	0,0	0,0
65	J.B. de Brno, "Krajovy"	1,8	0,1	0,0	0,0	1,5	1,1	0,2	0,0	11,5	0,1	3,1	80,4	0,0	0,0
66	Méjolanes *	3,1	0,2	0,2	0,2	1,2	2,0	0,6	0,2	11,8	0,3	3,0	75,8	0,7	0,3
67	Ténériffe, Canaries, 1984	4,6	0,2	0,2	0,4	2,5	3,0	0,4	0,0	14,3	0,3	2,6	71,1	0,0	0,0
69	Institut à Gatersleben, <i>dulce</i>	3,4	0,3	0,2	0,2	1,3	2,3	0,6	0,1	21,2	0,4	2,4	67,2	0,0	0,0
70	inconnue, <i>vulgare</i>	4,3	0,4	0,2	0,0	2,5	3,0	0,4	0,1	27,6	0,5	2,0	58,2	0,1	0,4
75	J.B. de Brno	1,8	0,2	0,0	0,0	1,7	1,3	0,3	0,0	12,0	0,3	2,7	79,1	0,2	0,4
76	Jarville, Meurthe-et-Moselle	1,8	0,3	0,1	0,3	0,4	1,5	0,0	0,7	17,9	0,4	3,2	36,6	12,2	21,3
	moyenne \bar{x}	5,0	0,2	0,3	0,2	1,7	2,2	0,4	0,1	18,0	0,3	2,8	64,7	1,2	2,3
77	Labos Yves Rocher, "roux"	6,1	0,8	0,4	0,5	5,8	5,9	0,6	0,1	49,1	1,0	0,9	28,0	0,0	0,0
78	<i>dulce</i>	2,5	0,0	0,1	0,4	0,7	3,5	0,8	0,0	2,0	0,0	3,3	85,9	0,0	0,0
79	Hermalle-sous-Argenteau	1,4	0,3	0,0	0,2	2,3	2,3	0,1	0,0	19,0	0,3	2,6	71,1	0,0	0,1
68	Ténériffe, Canaries, 1982	1,6	0,3	0,0	0,2	1,7	2,9	0,3	0,1	21,5	0,4	2,4	68,3	0,0	0,0
80	J.B. de Wisley *	1,6	0,0	0,0	0,0	1,2	7,0	0,0	0,0	13,8	0,0	3,7	70,2	0,0	2,5
81	Nador, nord-est du Maroc	1,2	0,0	0,0	0,4	0,7	5,5	1,5	0,3	5,2	0,0	3,3	79,2	0,6	1,2
82	condimentaire, Cigalou	1,5	0,1	0,0	0,1	0,3	7,0	0,0	0,0	10,6	0,1	3,3	72,3	1,0	3,1
83	commerce, Egypte	1,9	0,2	0,0	0,1	0,4	8,7	0,0	0,5	12,3	0,2	3,9	34,0	14,5	20,7
84	condimentaire, Amora	1,3	0,2	0,0	0,1	1,2	7,4	0,0	0,0	10,0	0,1	2,7	76,5	0,0	0,0
85	bazar d'Istanbul, Turquie	0,9	0,0	0,0	0,2	0,2	9,7	0,0	0,3	1,2	0,0	3,8	66,7	3,2	12,9
	moyenne \bar{x}	1,5	0,1	0,0	0,2	1,0	6,0	0,3	0,1	10,6	0,1	3,2	69,4	2,1	4,5

Tableau 23: Profil de l'essence, riche en anéthole et présentant moins de 5 % d'estragole, des akènes (ou des diakènes; *) de 33 fenouils, classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène/limonène + β -phellandréne.
 *: faible échantillonnage
 J.B.: Jardin Botanique

correspond à un fenouil ornemental au feuillage brun, tout comme le lot n°41, qui présentait aussi la fenchone comme principal constituant de l'essence des semences (tab. 21).

L'estragole représente de 2.0 % (n°54) à 4.3 % (n°64) de l'essence.

L'anisaldéhyde accompagne l'anisacétone, ce dernier composé possédant généralement un pourcentage plus élevé. Les lots 49, 57, 76, 83 et 85 en sont particulièrement riches (tab. 23) et présentent aussi beaucoup de p-cymène.

Le pic de limonène présente pour de nombreux échantillons un épaulement dû au β -phellandrène, dont le pourcentage semble toujours inférieur, sauf pour le lot n°67 où on a 1.3 % de limonène et 1.7 % de β -phellandrène.

Les échantillons dont le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène est inférieur à 1 ont peu de β -pinène, et des pourcentages de γ -terpinène et de fenchone très variables; ce dernier composé est particulièrement faible pour les lots n°78 (2.0 %) et 85 (1.2 %).

Le fenouil sauvage récolté aux Canaries (lots 67 et 68) possède selon l'année de récolte un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène supérieur ou inférieur à 1; notons que les semences ont été récoltées en 1984 sur des ombelles plus mûres qu'en 1982.

La littérature laisse prévoir pour la variété *vulgare* des pourcentages plus élevés d' α -pinène, camphène, myrcène + α -phellandrène, fenchone et plus faibles de limonène. Les moyennes des 2 groupes de rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène supérieur ou inférieur à 1 le vérifient. Mais les pourcentages des constituants sont variables et le profil ne permet pas de distinguer nettement des fenouils qui seraient doux de ceux qui seraient amers. De plus, nous constatons que des échantillons sensés appartenir à la variété *dulce*, s'apparentent en fait par leur profil à la variété *vulgare*. C'est très nettement le cas des lots 53, 54 et 57.

Les pourcentages les plus élevés du composé sortant à 128°C se rencontrent pour les échantillons les plus riches en fenchone (n°57, 62, 70).

Ajoutons que le lot n° 57 présente 0.9 % d'un composé sortant à 111°C, entre l'étalon et la fenchone. De plus, le pic sortant à 94°C et coïncidant avec l'une des impuretés de l'étalon, atteint, après correction, 0.3 % de l'essence des fruits pour les lots 84 et 85, et 0.5 % pour les lots 78 et 81.

	n°	origine dénomination	teneur en essence		g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α-pinène / limonène + β-phell.	
			mg / 1000 akènes	g/100g de MS				g/100g de MF
α-pinène/ limonène + β-phellandréne >	49	Californie *	155	5,1	3,4	30	26,4	4,5
	50	J.B. de Fominianus 1980	310	9,8	7,4	17	33,3	3,9
	52	<i>azoricum</i> , Açores, non mûr *	55	5,4	3,6	30	27,7	3,5
	53	cultivé en Hongrie, <i>dulce</i>	180	6,5	4,8	22	22,5	3,3
	51	J.B. de Fominianus 1981	365	12,5	9,3	17	30,8	3,1
	54	"deutscher Großfrüchtiger"	290	4,0	3,3	15	41,1	2,8
	55	J.B. de Coimbra	65	2,6	2,1	19	31,5	2,6
	56	J.B. de Bochum	180	4,9	3,6	22	29,8	2,2
	57	Institut à Budakalász, <i>dulce</i>	95	3,2	2,4	20	38,8	2,2
	58	Hongrie	330	8,1	6,0	20	19,7	2,2
	59	Lens, Pas-de-Calais	315	10,7	7,7	21	26,7	1,9
	60	Institut botanique, Moscou *	325	4,6	3,8	13	33,6	1,8
	61	Laboratoires Yves Rocher *	430	6,7	5,1	20	33,1	1,7
	62	Apsin, Belgique *	490	7,5	5,6	19	40,6	1,7
	63	J.B. de Brno	165	7,1	4,6	30	19,2	1,7
	64	J.B. de Brno, <i>dulce</i>	180	4,8	4,0	13	33,6	1,7
	65	J.B. de Brno, "Krajovy"	160	7,4	4,8	31	16,5	1,6
	66	Méjolanès *	300	14,9	9,9	24	19,9	1,5
67	Ténériffe, Canaries, 1984	160	6,9	5,2	19	26,3	1,5	
69	Institut à Gatersleben, <i>dulce</i>	405	9,4	6,5	30	30,2	1,5	
70	inconnue, <i>vulgare</i>	230	6,0	3,9	31	39,2	1,4	
75	J.B. de Brno	165	7,2	5,1	25	17,7	1,4	
76	Jarville, Meurthe-et-Moselle	130	5,2	3,7	25	23,4	1,2	
		moyenne \bar{x}	240	7,0	5,0	22	28,8	2,2
	77	Labos Yves Rocher, "roux"	155	9,5	7,2	18	71,0	1,0
α-pinène/limonène + β-phell. <	78	<i>dulce</i>	250	5,1	3,6	26	10,6	0,70
	79	Hermalle-sous-Argenteau	130	5,2	3,5	29	26,0	0,62
	68	Ténériffe, Canaries, 1982	260	8,2	6,0	20	29,2	0,55
	80	J.B. de Wisley	50	1,4	1,1	15	23,6	0,24
	81	Nador, nord-est du Maroc	95	2,8	2,1	22	15,4	0,23
	82	condimentaire, Cigalou	35	1,0	0,7	24	19,8	0,21
	83	commerce, Egypte	55	1,8	1,4	22	25,1	0,20
	84	condimentaire, Amora	40	1,0	0,8	19	20,6	0,17
85	bazar d'Istanbul, Turquie	90	2,2	1,7	18	12,8	0,09	
		moyenne \bar{x}	110	3,2	2,3	22		0,34

Tableau 24. Caractéristiques de l'essence, présentant beaucoup de trans-anéthole et peu d'estragole, des akènes (voire des diakènes; *) de 33 fenouils classés dans l'ordre décroissant du rapport α-pinène / limonène + β-phellandréne.
 MF, MS; matière fraîche, matière sèche
 J.B.; Jardin Botanique
 *: faible échantillonnage

La teneur en essence des lots ayant un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène supérieur à 1 est souvent élevée (tab. 24). Elle dépasse 10 g par 100 g de matière sèche pour les fenouils 51, 59 et 66, mais, pour ce dernier, il convient de noter que des diakènes peu mûrs ont été analysés. Elle est nettement plus faible pour les lots 55 et 57. Nous n'avons pu nous procurer que des diakènes franchement peu mûrs des Açores (n°52), ce qui explique la faible quantité d'essence (55 mg par 500 diakènes) et la teneur plus élevée quand elle est rapportée au poids de matière sèche ou fraîche. Bien que nous n'ayons pu obtenir la germination des semences afin de vérifier l'absence de développement d'un bulbe en champ, nous pensons ne pas avoir affaire à la variété *azoricum*, qui présente, en particulier, moins d' α -pinène.

La quantité d'essence trouvée dans les fruits des échantillons ayant un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène inférieur à 1 est hétérogène. On peut distinguer les lots 78, 79 et 68, dont la teneur est élevée, des lots 80-85, qui présentent moins de 2.8 g par 100 g de matière sèche. On remarquera de plus que ces 6 derniers lots ont un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène faible, inférieur à 0.24.

La teneur en eau et lipides extraits varie de 13 à 31 g par 100 g de matière fraîche.

g) Echantillons d'Asie orientale

Ces fenouils présentent le trans-anéthole comme principal constituant de l'essence des fruits (tab. 25). Une forte oxydation est observée pour les lots 87, 91, 92 et 93. L'anisaldéhyde est accompagné d'anisacétone et d'un composé indéterminé sortant à 189°C. Ces produits d'oxydation sont particulièrement abondants pour le lot 93, ce qui explique que ce vieil échantillon ne présente plus que 24.8 % de trans-anéthole. Les lots 87, 92 et 93 possèdent les pourcentages les plus élevés de p-cymène; ce terpène n'a pas été détecté pour le lot 91.

Le β -pinène ne dépasse pas 0.1 % et n'a pas été détecté pour plusieurs lots. La fenchone varie de 7.3 à 23.3 %.

n°	origine															
		α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandrène	limonène + β -phellandrène	γ -terpinène	p-cyène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	pic à 189°C	anisacétone?
86	Bangalore, Inde	0,7	0,0	0,0	0,0	0,8	6,7	0,0	0,0	9,1	0,0	2,7	79,5	0,0	0,0	0,0
87	région de Pékin, Chine	2,2	0,1	0,1	0,3	0,9	7,1	1,2	0,4	7,3	0,1	3,2	71,9	2,1	0,3	2,5
88	Chandigarh, Inde	1,5	0,2	0,1	0,3	1,4	6,5	0,0	0,0	11,2	0,2	3,0	74,6	0,0	0,0	0,2
89	Bangladesh	1,2	0,2	0,0	0,5	1,1	7,3	0,0	0,0	11,8	0,2	2,8	71,8	1,0	0,0	1,8
90	Bangladesh	1,3	0,2	0,1	0,4	1,4	9,7	0,0	0,0	11,0	0,2	2,8	71,1	0,2	0,0	0,4
91	Pakistan	1,4	0,1	0,0	0,1	0,0	8,3	0,0	0,0	15,6	0,0	3,9	53,4	5,7	1,1	9,5
92	mélange, Bangladesh	1,6	0,2	0,0	0,2	0,6	9,2	0,0	0,2	14,9	0,2	3,3	60,5	3,2	0,4	5,0
93	Hôtel indien, Vancouver	2,0	0,3	0,1	0,0	0,0	9,8	0,0	0,4	23,3	0,0	4,9	24,8	17,8	1,4	15,3
	moyenne \bar{x}	1,5	0,2	0,1	0,2	0,8	8,1	0,2	0,1	13,0	0,1	3,3	63,5	3,8	0,4	4,3

Tableau 25: Profil de l'essence, riche en trans-anéthole, des akènes de 8 fenouils asiatiques, classés dans l'ordre croissant du pourcentage de composés terpéniques. Les pourcentages d' α -pinène et d'estragole sont faibles.

n°	origine	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α -pinène / limonène + β -phell.
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
86	Bangalore, sud de l'Inde	45	1,1	0,8	27	17,8	0,11
87	région de Pékin, Chine	95	3,2	2,3	25	19,9	0,32
88	Chandigarh, nord de l'Inde	60	1,6	1,2	22	22,0	0,23
89	Bangladesh	75	2,0	1,5	23	22,5	0,17
90	Bangladesh	100	2,5	2,1	15	25,1	0,13
91	Pakistan	30	1,0	0,7	23	25,4	0,17
92	Bangladesh, mélange aromatique	30	1,1	0,8	24	27,3	0,17
93	Hôtel indien, Vancouver	25	0,8	0,6	22	35,9	0,20
	moyenne \bar{x}	55	1,7	1,3	23	24,5	0,19

Tableau 26: Caractéristiques de l'essence, riche en anéthole, des akènes de 8 fenouils d'Asie orientale, classés dans l'ordre croissant du pourcentage des composés terpéniques; on constate une faible teneur en essence et un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène nettement inférieur à 1.
MF, MS: matière fraîche, matière sèche

Le γ -terpinène est non détecté ou à l'état de traces pour les échantillons du continent indien. Le fenouil de Chine (n°87) en renferme 1.2 % .

Ce fenouil se caractérise encore par sa teneur en essence, la seule à dépasser 3 g par 100 g de matière sèche (tab. 26); son rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène, de 0.32, est le plus élevé.

h) Fruits de fenouil bulbeux

Les 20 échantillons de fenouil bulbeux ont tous le trans-anéthole comme principal constituant de l'essence des fruits (tab. 27, fig. 11).

Seuls les lots 94 et 113 ne présentent pas de pic d'oxydation. On trouve surtout de l'anisacétone, de l'anisaldéhyde et un composé sortant à 189°C. Ces produits sont particulièrement abondants pour les lots 95, 97 et 112.

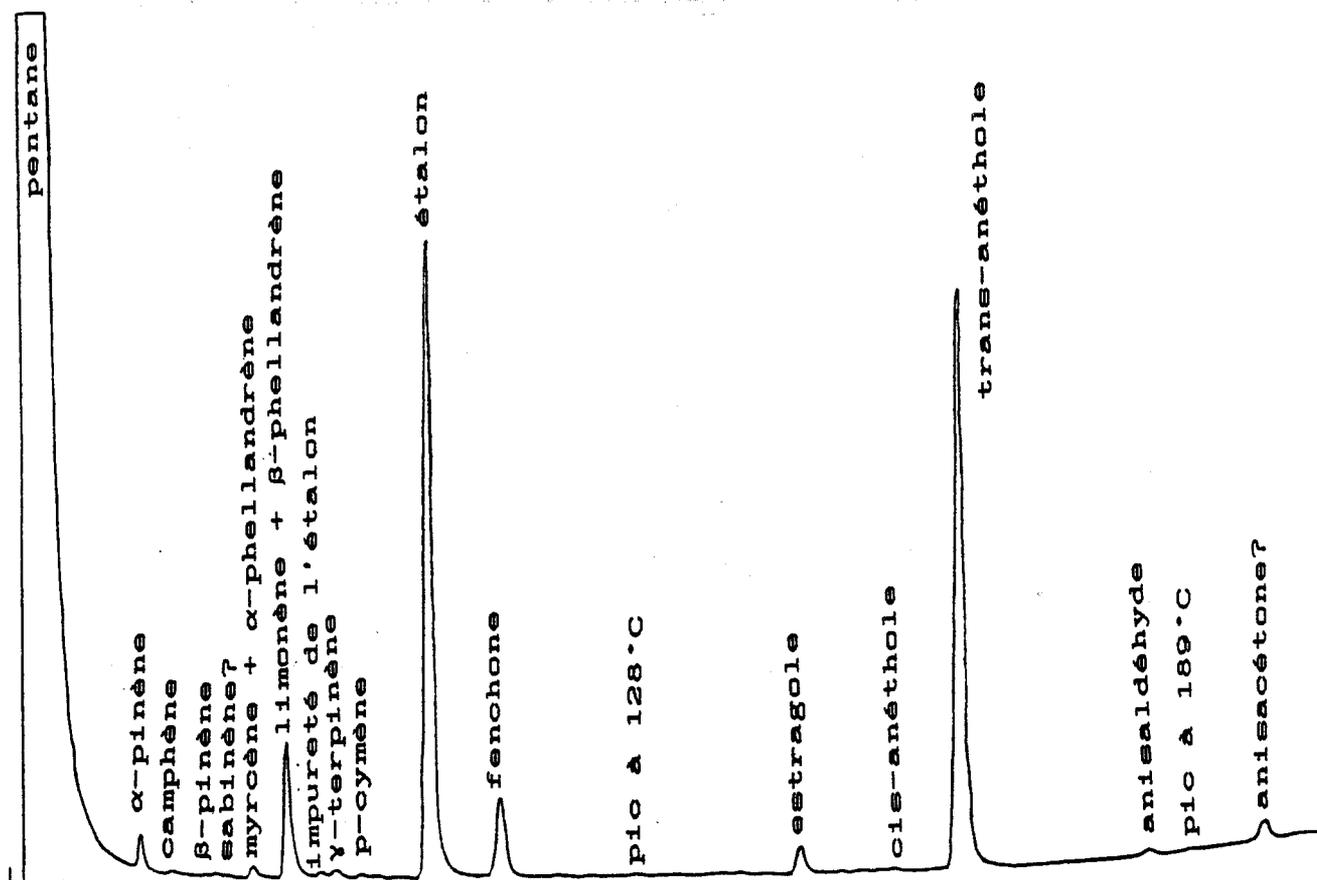


Figure 11: Chromatogramme en phase gazeuse de l'essence des akènes du lot n°109, qui correspond au cultivar de fenouil bulbeux "Domino", obtenu par sélection généalogique par les Etablissements Clause.

n°	désignation	α -pinène	camphène	sabinène?	myrcène + α -phellandrène	limonène + β -phellandrène	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	pic à 189°C	anisacétone?
94	"Sperling's Perfektion"	1,3	0,0	0,1	1,3	4,2	0,2	0,0	7,6	0,0	3,0	82,1	0,0	0,0	0,0
95	Weibulls, Landskrona, Suède	1,0	0,0	0,0	0,2	6,3	0,0	0,2	7,5	0,1	3,5	59,6	6,4	1,0	12,6
96	"F de Florence", Watrinet	1,5	0,1	0,2	1,1	3,9	0,2	0,1	8,7	0,2	3,2	79,2	0,5	0,0	1,1
97	Semillas Germinadora	1,3	0,0	0,0	0,1	5,7	0,0	0,2	8,8	0,1	3,5	51,7	8,7	2,4	15,4
98	"Fenouil d'été", Vilmorin	1,3	0,1	0,1	0,9	9,0	0,1	0,0	5,1	0,1	3,4	78,8	0,5	0,0	0,5
99	"Latina", Clause	1,3	0,1	0,1	0,9	7,3	0,2	0,1	6,9	0,1	3,2	71,2	3,1	0,6	4,3
100	"Doux de Florence", Vita	1,7	0,0	0,0	1,2	7,9	0,0	0,0	6,3	0,0	3,4	78,5	0,1	0,2	0,0
101	I.N.T.A., Argentine	1,8	0,1	0,1	1,2	8,4	0,4	0,1	5,6	0,1	3,8	76,7	0,4	0,1	0,7
102	Hammenhøgs, Suède	1,6	0,0	0,0	1,4	7,2	0,3	0,0	7,6	0,1	3,0	77,3	0,5	0,0	0,7
103	"F de Florence", Léonard	1,2	0,1	0,1	1,1	8,5	0,3	0,0	7,2	0,1	2,7	77,4	0,3	0,0	1,0
104	"F de Florence", Les dgts vrts	1,1	0,0	0,0	0,8	12,3	0,0	0,0	4,8	0,1	2,9	76,9	0,0	0,0	1,0
105	"F de Florence", Séminor	1,2	0,1	0,1	0,8	9,1	0,1	0,2	7,7	0,1	3,2	71,7	1,9	0,3	3,1
106	"F doux de Florence", Tézier	1,5	0,1	0,2	1,3	8,1	0,4	0,1	7,7	0,1	2,9	76,0	0,5	0,1	0,7
107	"F de Florence", Vilmorin	1,3	0,1	0,1	1,2	10,3	0,1	0,0	6,7	0,1	2,7	76,9	0,1	0,0	0,3
108	"F doux de Florence", Le Paysan	1,7	0,0	0,2	1,2	12,9	0,6	0,2	5,9	0,1	3,1	72,6	0,5	0,0	0,8
109	"Domino", Clause	1,7	0,1	0,1	1,3	10,8	0,6	0,2	8,2	0,1	2,9	69,3	1,3	0,1	2,9
110	"Géant Mammoth Perfection"	1,7	0,1	0,2	1,3	14,4	0,7	0,2	6,7	0,1	2,8	69,9	0,4	0,0	1,1
111	"De Mantoue race Solar"	1,7	0,2	0,2	1,0	10,2	0,2	0,2	11,4	0,2	3,0	67,3	1,0	0,2	2,6
112	"Hâtif de Genève", Clause	1,5	0,2	0,2	0,7	15,0	0,0	0,2	10,8	0,2	3,0	52,1	4,7	1,1	9,2
113	Hyde Park, Angleterre	1,2	0,0	0,0	1,3	17,9	0,0	0,0	10,2	0,0	2,5	66,7	0,0	0,0	0,0
	moenne \bar{x}	1,4	0,1	0,1	1,0	9,5	0,2	0,1	7,6	0,1	3,1	71,6	1,6	0,3	2,9

Tableau 27: Profil de l'essence des akènes de 20 fenouils bulbeux, classés dans l'ordre croissant du pourcentage de composés monoterpéniques.

L'essence renferme moins de 0.2 % de camphène et pas du tout de β -pinène, sauf pour les lots 101 et 104 qui en possèdent 0.1 % . Le pic du limonène présente rarement l'épaulement dû au β -phellandrène et varie de 3.9 (n°94) à 17.9 % (n°113). Le myrcène + α -phellandrène va de 0.1 (n°97) à 1.3 %. Les pourcentages d' α -pinène (1.0-1.8 %), de fenchone (4.8-11.4 %) et d'estragole (2.5-3.8 %) sont plus homogènes.

La teneur en essence des fruits est faible (tab. 28). Les lots 102 et 113 sont les seuls à présenter plus de 3 g par 100 g de matière sèche. Mais le maximum d'essence par 1000 akènes est observé pour le cultivar "Sperling's Perfektion" (n° 94).

n°	désignation	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α-pinène / limonène + β-phell.
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
94	"Sperling's Perfektion", ZGK	125	2,9	2,7	4	14,9	0,31
95	Weibulls, Landskrona, Suède	35	1,0	0,8	13	15,5	0,17
96	"F de Florence", Watrinet	70	2,0	1,6	18	16,0	0,37
97	Semillas Germinadora, Argentine	40	1,1	1,0	14	16,2	0,22
98	"Fenouil d'été", Vilmorin	60	2,5	2,1	15	16,7	0,15
99	"Latina", Clause	70	2,9	2,2	21	17,2	0,18
100	"Doux de Florence", Vita	80	2,5	1,8	25	17,4	0,21
101	I.N.T.A., Argentine	90	2,9	2,4	17	17,9	0,21
102	Hammenhögs, Suède	70	3,3	2,1	34	18,5	0,21
103	"F de Florence", Léonard	60	2,0	1,6	18	18,5	0,14
104	"F de Florence", Les doigts verts	80	2,4	1,8	22	19,2	0,09
105	"F de Florence", Seminor	50	1,8	1,4	21	19,5	0,14
106	"F doux de Florence", Tézier	70	2,8	2,1	21	19,7	0,19
107	"F de Florence", Vilmorin	75	2,5	2,0	17	19,9	0,12
108	"F doux de Florence", Le Paysan	55	2,0	1,6	20	22,8	0,13
109	"Domino", Clause	60	2,0	1,5	22	23,3	0,15
110	"Géant Mammoth Perfection"	45	1,9	1,4	23	25,4	0,12
111	"De Mantoue race Solar", Clause	45	1,7	1,4	14	25,6	0,17
112	"Hâtif de Genève", Clause	55	2,2	1,7	21	29,3	0,10
113	Hyde Park, Angleterre	90	3,8	2,7	27	30,7	0,06
	moyenne \bar{x}	65	2,3	1,8	19	20,2	0,17

Tableau 28: Caractéristiques de l'essence des akènes de 20 fenouils bulbeux, classés dans l'ordre croissant du pourcentage de composés monoterpéniques.
MF, MS: matière fraîche, matière sèche

On constate une faible teneur en eau et en lipides extraits: seulement 4 % pour le cultivar "Sperling's Perfektion". Le pourcentage de terpènes varie du simple au double et le rapport α-pinène / limonène + β-phellandréne est inférieur à 0.37.

1) Conclusion

α) Subdivision des divers lots

Avant de poursuivre, tentons une première synthèse de l'ensemble des données sur l'essence des fruits des 103 échantillons envisagés dans les tableaux 15-28. Nous avons reporté dans les tableaux 29 et 30 les valeurs moyennes et limites obtenues pour les différents groupes de lots.

Le pourcentage d'eau et de lipides varie de 4 à 34 % et ne permet aucune distinction.

- Les lots 1-3 et 4-5 se différencient nettement des autres par leur profil: anéthole et estragole absents ou à l'état de traces, présence des pics A et B pour les lots 1-3, et de myristicine pour les lots 4 et 5. Même en supposant que les pics A et B ne soient pas des composés terpéniques, le pourcentage de terpènes des lots 1-3 reste particulièrement élevé; on remarquera à côté du limonène la présence en forte quantité de γ -terpinène.

- Nous avons choisi de diviser les autres lots en tenant compte des pourcentages d'estragole et de trans-anéthole: on sépare aisément les échantillons dont l'essence des fruits renferme principalement du trans-anéthole ou principalement de l'estragole. Il est, par contre, difficile de délimiter un groupe homogène pour les lots riches en ces 2 phénylpropènes.

- Les pics sortant à haute température sont considérés comme des produits d'oxydation du trans-anéthole d'après la littérature. Nous avons constaté qu'ils étaient particulièrement importants pour les échantillons qui ont été conservés longtemps (n°34, 49). Le tableau 29 montre qu'ils se rencontrent aussi bien pour les lots riches en trans-anéthole que pour ceux présentant l'estragole comme principal constituant. Mais avant de conclure hâtivement à une oxydation de l'estragole, il faut remarquer que les échantillons où l'on trouve beaucoup d'anisaldéhyde et d'anisacétone possèdent tous un pourcentage non négligeable d'anéthole. Ainsi en est-il des lots 6, 11 ou 32 qui présentent respectivement 9.9, 20.6 et 25.4 % de trans-anéthole. Le tableau 29 fait ressortir un pourcentage moyen plus élevé d'anisaldéhyde, d'anisacétone et de composé sortant à 189°C dans les groupes d'échantillons où le trans-anéthole domine.

Le pourcentage d'anisacétone est généralement supérieur à celui d'anisaldéhyde. Or, l'essence des fruits du fenouil de Rabat (n°5) est dénuée d'anisacétone; les 10 % d'anisaldéhyde, en supposant qu'il s'agisse bien de ce composé, ne proviendraient donc pas de l'oxydation du trans-anéthole.

lots	x	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p -cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	pic à 189°C	anisacétone?
1-3	min	0,5	0,0	0,0	0,2	2,4	36,0	6,8	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	0,7	0,0	0,0	0,3	2,7	42,6	10,6	1,8	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	max	0,9	0,0	0,0	0,5	2,9	49,4	16,7	2,6	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4 Portugal		8,4	0,0	0,4	0,0	1,7	1,9	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5 Rabat, Maroc		17,8	0,4	1,0	0,6	4,8	7,9	0,2	0,0	19,4	0,4	0,3	0,1	10,0	0,0	0,0
6-21, 28	min	2,2	0,0	0,0	0,0	1,2	2,1	0,2	0,0	11,2	0,2	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	5,0	0,3	0,3	0,3	2,7	3,9	0,8	0,3	23,7	0,4	54,3	7,2	0,2	0,0	0,4
	max	12,3	0,5	0,5	0,9	5,5	7,5	1,8	4,5	35,8	0,6	80,9	20,6	2,4	0,6	5,5
29-32	min	2,0	0,0	0,0	0,2	0,4	14,2	0,0	0,0	2,6	0,0	41,2	0,6	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	2,2	0,0	0,0	0,4	0,8	16,5	0,4	0,3	3,7	0,1	60,8	13,2	1,0	0,0	0,3
	max	2,5	0,0	0,0	0,5	1,2	18,8	0,7	0,9	4,7	0,1	75,3	25,8	3,8	0,0	1,2
33-48	min	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	7,3	0,2	5,2	24,1	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	4,1	0,2	0,3	0,2	1,6	2,4	0,5	0,2	16,6	0,3	22,0	48,9	1,0	0,1	1,2
	max	10,4	0,4	2,0	0,5	3,2	3,7	0,9	1,0	33,5	0,5	40,7	64,9	11,5	0,4	11,7
49-67, 69, 70, 75, 76	min	1,8	0,1	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	0,0	10,2	0,1	2,0	30,2	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	5,0	0,2	0,3	0,2	1,7	2,2	0,4	0,1	18,0	0,3	2,8	64,7	1,2	0,3	2,3
	max	10,6	0,5	0,8	0,6	3,0	3,6	0,8	0,7	28,9	0,6	4,3	80,4	12,2	2,6	21,3
77 "roux"		6,1	0,8	0,4	0,5	5,8	5,9	0,6	0,1	49,1	1,0	0,9	28,0	0,0	0,0	0,0
68, 78-85	min	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	2,3	0,0	0,0	1,2	0,0	2,4	34,0	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	1,5	0,1	0,0	0,2	1,0	6,0	0,3	0,1	10,6	0,1	3,2	69,4	2,1	0,2	4,5
	max	2,5	0,3	0,1	0,4	2,3	9,7	1,5	0,5	21,4	0,4	3,9	85,9	14,5	1,4	20,7
86-93	min	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0	7,3	0,0	2,7	24,8	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	1,5	0,2	0,1	0,2	0,8	8,0	0,2	0,1	13,0	0,1	3,3	63,2	3,7	0,4	4,3
	max	2,2	0,3	0,1	0,5	1,4	9,8	1,2	0,4	23,3	0,2	4,9	79,5	17,8	1,4	15,3
94-113	min	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	4,8	0,0	2,5	51,7	0,0	0,0	0,0
	\bar{x}	1,4	0,1	0,0	0,1	1,0	9,5	0,2	0,1	7,6	0,1	3,1	71,6	1,6	0,3	2,9
	max	1,8	0,2	0,1	0,2	1,4	17,9	0,7	0,2	11,4	0,2	3,8	82,1	8,7	2,4	15,4

Tableau 29: Pourcentages moyen, minimum et maximum de plusieurs constituants de l'essence des fruits des divers groupes de fenouils envisagés dans le texte.

Bien que nous n'ayons analysé que des akènes ne paraissant pas abîmés, il convient de signaler que certains lots étaient en mauvais état, en particulier les fruits de plusieurs fenouils bulbeux du commerce, dont le péricarpe semble avoir subi des chocs. Des petites fissures dans la paroi des akènes pourraient favoriser une oxydation de l'essence des bandelettes. Ceci pourrait expliquer pourquoi la plupart des cultivars de fenouil bulbeux commercialisés que nous avons analysés présentent des composés d'oxydation dans l'essence des fruits.

- Les terpènes et la teneur en essence (tab. 29 et 30) permettent d'envisager un autre classement des lots riches en phénylpropènes peu oxydés. On peut en effet séparer en 2 séries les groupes d'échantillons suivants:

- lots 6-28; 33-48; 49-67,69-76; 77: série 1

- lots 29-32; 86-93; 94-113 : série 2

La première série se distingue de la seconde par les caractères suivants: Les pourcentages de limonène + β -phellandrène sont plus faibles. Ceux d' α - et β -pinène sont plus élevés. Ceux de camphène, de myrcène + α -phellandrène, de γ -terpinène, de fenchone et de composé sortant à 128°C sont souvent plus forts. Le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène est plus élevé et dépasse 0.4. La teneur en essence est généralement plus importante.

Le groupe des lots 68,78-85 est hétérogène pour la teneur en essence. Les échantillons 68, 78 et 79, riches en essence et de rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène supérieur à 0.4 peuvent être inclus dans la série 1. Ainsi les lots 67 et 68 des Canaries ne sont plus séparés.

Par contre, les échantillons 80-85, pauvres en essence, de rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène inférieur à 0.24, seront placés dans la série 2.

Cette séparation en 2 séries reste, malgré tout, assez artificielle, puisque par exemple certains lots de la série 1 ont moins de 3 g d'essence par 100 g de matière sèche (n°16 et 55).

Elle conduit à introduire dans la série 2, auprès d'échantillons présentant le trans-anéthole comme principal phénylpropène, les lots 29-32, où l'estragole est le constituant majoritaire de l'essence des fruits. Ces 4 lots ont, comme autre particularité, de présenter moins de 4.7 % de fenchone, et beaucoup de limonène, qui constitue plus de 60 % des terpènes.

lots		teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α-pinène / limonène + β-phell.
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
1-3	minimum	65	2,6	1,8	18	63,8	0,01
	moyenne \bar{x}	80	3,4	2,4	27	66,0	0,02
	maximum	90	4,6	2,9	34	68,3	0,03
4	Portugal	45	3,4	2,4	27	17,0	4,45
5	Rabat, Maroc	60	3,8	2,9	19	53,4	2,26
6-21,28	minimum	15	1,5	1,2	16	19,1	0,4
	moyenne \bar{x}	105	5,8	4,1	23	37,8	1,6
	maximum	240	9,5	6,6	34	59,4	4,3
29-32	minimum	60	1,4	1,1	21	21,2	0,11
	moyenne \bar{x}	75	2,0	1,5	22	24,6	0,14
	maximum	95	2,4	1,8	24	27,8	0,16
33-48	minimum	40	3,4	2,7	8	14,2	0,5
	moyenne \bar{x}	160	5,8	4,4	20	26,7	1,9
	maximum	380	10,5	6,8	30	49,5	5,6
49-67,69, 70,75,76	minimum	55	2,6	2,1	13	16,5	1,2
	moyenne \bar{x}	240	7,0	5,0	22	28,8	2,2
	maximum	490	14,9	9,9	31	41,1	4,5
77	Labos Y. Rocher	156	9,5	7,2	18	71,0	1,0
68,78-85	minimum	35	1,0	0,7	15	10,6	0,09
	moyenne \bar{x}	110	3,2	2,3	22	20,3	0,34
	maximum	260	8,2	6,0	29	29,2	0,70
86-93	minimum	25	0,8	0,6	15	17,8	0,11
	moyenne \bar{x}	55	1,7	1,3	23	24,5	0,19
	maximum	100	3,2	2,3	27	35,9	0,32
94-113	minimum	35	1,0	0,8	4	14,9	0,06
	moyenne \bar{x}	65	2,3	1,8	19	20,2	0,17
	maximum	125	3,8	2,7	34	30,7	0,37

Tableau 30: Caractéristiques de l'essence des akènes des divers groupes de fenouils envisagés dans le texte.
MF, MS; matière fraîche, matière sèche

Quatre lots ne suffisent pas cependant pour avoir une bonne idée de la variation possible des constituants, d'autant plus qu'il n'est pas impossible que les échantillons 29 et 31 proviennent d'un même fournisseur, vu la similitude de profil et de teneur (tab. 19 et 20). Un profil terpénique voisin est observé pour le lot 85, vendu à Istanbul (tab. 23), et le fenouil bulbeux n°104 (tab. 27).

Les lots 80-113 ont une teneur peu élevée et peu de différences de profil. La variété *azoricum*, caractérisée par le renflement prononcé des gaines des feuilles stériles, ne peut être distinguée par les caractères de l'essence. Ces derniers ne permettent pas non plus la distinction de variétés "*panmorium*" et "*dulce*".

Le lot n°78 nous a été fourni par l'I.R.A.B. comme référence du fenouil doux. C'est, de tous les échantillons, celui qui possède le moins de terpènes (10.6 %). Il est suivi par le lot 85, qui n'en présente que 12.8 %, mais a un profil terpénique différent, avec un rapport limonène / fenchone nettement plus élevé.

- Nous avons cherché à séparer graphiquement les différents groupes de lots et les séries 1 et 2. Nous avons retenu la répartition en fonction de la teneur en essence et du pourcentage de terpènes (fig. 12).

Les échantillons 1-3 (●) forment un groupe bien distinct, caractérisé par un fort pourcentage de terpènes.

Les lots 4 et 5 (⊙) se trouvent éloignés l'un de l'autre par leur pourcentage de terpènes, respectivement de 17 et 53.4 % .

Les séries 1 et 2 semblent pouvoir être grossièrement délimitées par un trait en pointillé sur la figure 12. La séparation n'est pas tout à fait nette, comme en témoigne la position du fenouil bulbeux cultivé à Hyde Park (n°113).

La série 1 présente un pourcentage de terpènes variable, pouvant être important (n°6, 16, 77) ou très faible (n°78). Les fruits possèdent généralement plus de 3 g d'essence par 100 g de matière sèche. Les plus fortes teneurs sont observées pour le groupe 49-67,69-76 (*), en particulier pour un fenouil provenant du Jardin Botanique de Fominianus (n°50 et 51); la dispersion vers les valeurs plus élevées pourrait être liée à des travaux de sélection. Les lots 33-48 (+) ont une répartition intermédiaire entre celle des groupes 6-28 et 49-67,68-76 et pourraient

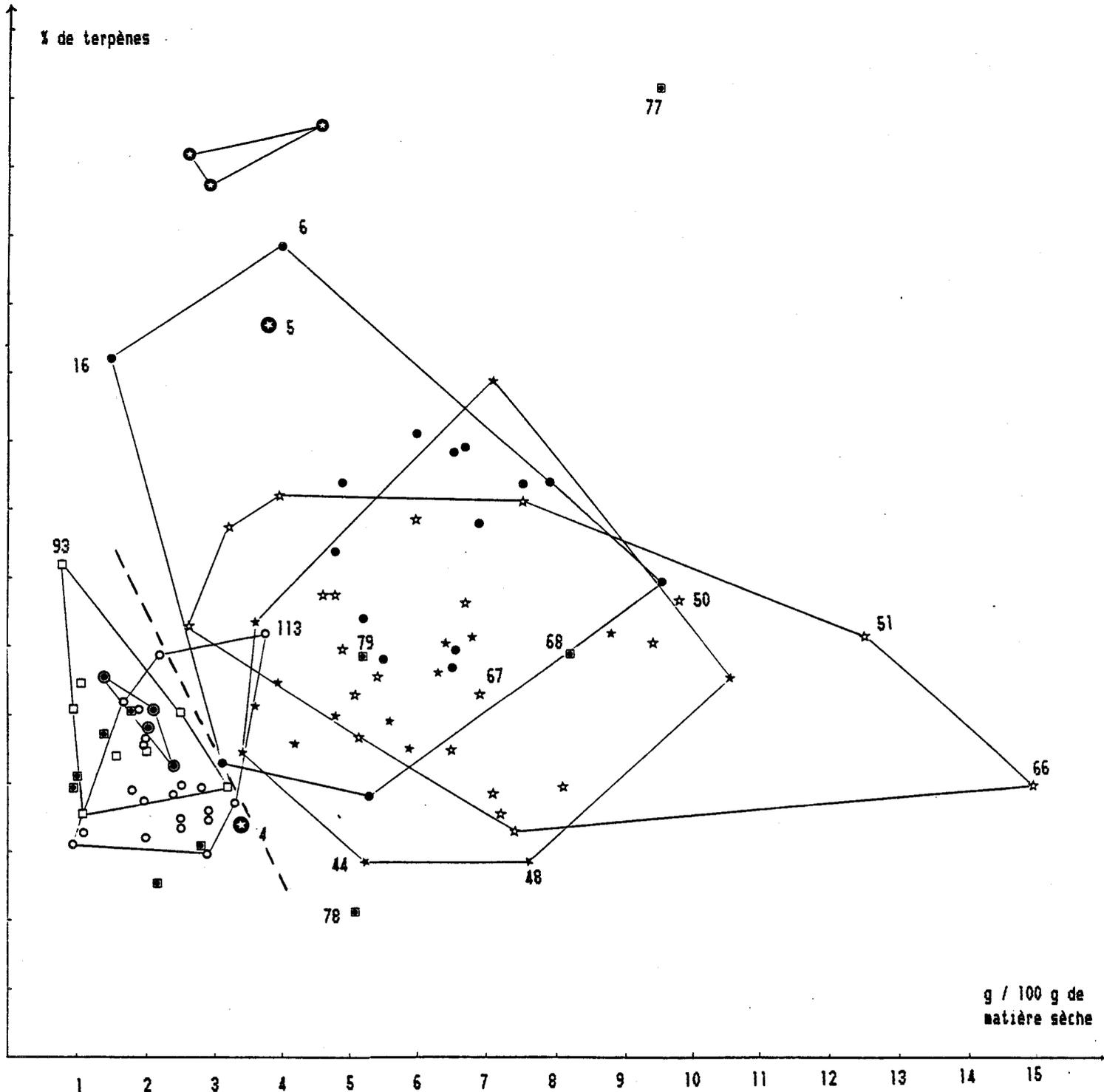


Figure 12: Répartition des divers groupes de lots de fenouils en fonction de la teneur en essence, exprimée en g par 100 g de matière sèche, et du pourcentage de terpènes. Les lots 6-113 semblent pouvoir être divisés en 2 séries, 1 et 2, respectivement situées à droite et à gauche du trait en pointillé (— —)

- ⊕ : lots 1-3
- ⊗ : lots 4-5
- : lots 6-21, 28
- ⊙ : lots 29-32
- ★ : lots 33-48
- ☆ : lots 49-67, 69, 70, 75-77
- : lots 68, 78-85
- : lots 86-93
- : lots 94-113

résulter d'une hybridation entre des fenouils riches en estragole et d'autres, riches en trans-anéthole. Les fenouils n°44 et 48, d'Argentine, se rapprochent par un faible pourcentage de terpènes. Les 2 échantillons des Canaries (n°67 et 68) apparaissent finalement peu éloignés.

La série 2 présente un écart moins important du pourcentage de terpènes. Les 4 échantillons 29-32 (●) occupent sur la figure 12 une faible aire incluse dans celle correspondant aux fenouils d'Asie orientale (○). Les lots 86-93 possèdent un pourcentage de terpènes souvent plus élevé que celui de la variété *azoricum* (○).

- Il est intéressant de constater que les fenouils d'Asie orientale (n°86-93), d'Asie occidentale (n°85) et d'Egypte (n°85) se trouvent tous dans la série 2. Les lots 82 et 84, vendus comme condiments dans le commerce, pourraient provenir aussi d'Asie ou d'Egypte.

Inversement, on constate que les lots marocains appartiennent à des groupes très divers. Les différences de profil sont importantes pour les fenouils cultivés à Rabat (n°5), à Chaouen (n°35) et pour le fenouil condimentaire acheté à Lille (n° 81), qui proviendrait de la région de Nador (tab. 17, 22 et 23).

β) Analyse des coefficients de corrélation

Les coefficients de corrélation linéaire r ont été calculés pour les 103 lots étudiés jusqu'à présent: n°1-21, 28-70, 75-113.

On constate une forte corrélation ($r=0.992$) entre les teneurs rapportées à 100 g de matière sèche et fraîche. On peut donc se contenter de donner un seul des ces 2 modes d'expression. On préférera rapporter la teneur à 100 g de matière fraîche, car l'établissement du poids de matière sèche est beaucoup moins rapide. Le coefficient de corrélation est moins élevé entre la teneur en mg par 1000 akènes et celle exprimée par rapport au poids de matière sèche ($r=0.66$), ou fraîche ($r=0.68$). On pourra rapporter la teneur à 1000 akènes, d'autant que compter les fruits avant l'extraction est une opération qui ne pose aucun problème.

On peut exclure toute relation entre la teneur en essence et le pourcentage d'eau et de lipides ($|r| < 0.18$).

Nous avons reporté dans le tableau 31 les coefficients r entre quelques constituants de l'essence des fruits.

	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde?	pic à 189 °C
anisacétone?	-0,17	-0,13	-0,14	-0,27	-0,50	-0,02	-0,14	0,15	-0,04	-0,08	-0,19	-0,03	0,88	0,92
pic à 189 °C	-0,13	-0,08	-0,11	-0,24	-0,44	-0,03	-0,13	0,09	-0,01	-0,06	-0,18	-0,03	0,79	
anisaldéhyde	0,01	-0,02	-0,03	-0,18	-0,37	0,00	-0,13	0,16	0,01	-0,06	-0,17	-0,13		
trans-anéthole	-0,29	-0,36	-0,14	-0,41	-0,45	-0,25	-0,33	-0,30	-0,34	-0,34	-0,74			
estragole	0,09	0,27	0,04	0,39	0,25	-0,09	-0,03	-0,03	0,21	0,26				
pic à 128 °C	0,46	0,82	0,31	0,24	0,62	-0,45	-0,14	0,05	0,90					
fenchone	0,42	0,82	0,24	0,13	0,59	-0,43	-0,16	0,06						
p-cymène	0,14	0,07	0,01	-0,04	-0,03	0,41	0,43							
γ -terpinène	-0,10	-0,12	-0,07	0,25	0,26	0,69								
limonène+ β -phell.	-0,33	-0,40	-0,30	0,11	0,00									
myrcène+ α -phell.	0,47	0,56	0,30	0,53										
sabinène?	0,30	0,32	0,24											
β -pinène	0,77	0,33												
camphène	0,51													

Tableau 31: Coefficients de corrélation linéaire entre les pourcentages des principaux constituants de l'essence des fruits de 103 lots (n°1-21, 28-71, et 76-113) de fenouils. Les coefficients dont la valeur absolue est supérieure à 0,25 sont donnés en italiques et sont significatifs avec un risque d'erreur de 1 %.

On constate des coefficients élevés ($r \geq 0,79$) entre l'anisaldéhyde, l'anisacétone et le composé sortant à 189°C. Ces produits d'oxydation ne corrént pas avec le p-cymène ($r \leq 0,16$). Cependant, les coefficients deviennent plus élevés si on ne considère plus les lots 1-5:

p-cymène - anisacétone $r=0,26$
 p-cymène - anisaldéhyde $r=0,22$
 p-cymène - composé sortant à 189°C $r=0,14$

L' α - et le β -pinène sont incontestablement en rapport ($r=0,77$). Une relation est aussi observée entre le camphène, la fenchone et le pic sortant à 128°C ($r \geq 0,82$), qui pourrait être du camphre. Par contre, il faut rejeter une liaison entre le limonène + β -phellandréne et le γ -terpinène: en effet, le coefficient r passe de de 0,69 à -0,18 dès lors qu'on n'envisage plus les lots 1-3.

n°	origine	% de fruits bruns ou couleur	% d'akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes bruns	nombre d'akènes bruns par gramme	akènes, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
1	Cannes, Alpes-Maritimes	± vert	33	57	2,95	340	469	22	0,16	156	8	0,17	68	8	0,39
2	Marino, Italie	100	7	6	3,0	340	430	10	0,09	143	5	0,15	88	5	0,21
3	Mèze, Hérault	40	44	11	3,75	270	406	9	0,08	159	8	0,18	87	6	0,23
	moyenne \bar{x}		28	25	3,25	310	435			153			81		
4	Portugal	65	63	14	2,05	490	380	13	0,12	129	5	0,14	85	3	0,13
5	Rabat, Maroc, cultivé	100	32	19	2,1	480	346	12	0,13	127	5	0,14	91	4	0,17

Tableau 32: Caractéristiques des fruits dont l'essence renferme peu ou pas de trans-anéthole et d'estragole. Intervalle de Confiance à 5 % IC= $1,96 \times s/\sqrt{n}$
Coefficient de Variation CV= s/\bar{x}
avec écart-type estimé $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, n étant le nombre de mesures

2) Caractères des fruits

a) Echantillons 1-5

Etudions à présent les caractères des fruits correspondant aux différents groupes de lots. Les akènes des échantillons 1-3 (tab. 32) sont de taille semblable, d'environ 4 mm de long, 1.5 de large et 0.8 d'épaisseur.

Le caractère de séparation des diakènes varie certainement beaucoup avec la date de récolte. Il est normal que le pourcentage d'akènes soit faible quand les fruits ont été récoltés encore verts ou avant complet brunissement (lots n°1 et 3). Bien que tous bruns, les fruits du lot n°2 ne paraissent pas totalement mûrs.

Le poids moyen de 1000 akènes est de 3.25 g, soit 310 akènes par gramme. Le nombre de fruits courbés est particulièrement élevé pour le fenouil de Cannes (n°1).

Les fruits des fenouils 4 et 5 ont des caractéristiques communes. Ils sont plus petits et légers que ceux des lots 1-3.

b) Echantillons 6-32

L'essence des fruits de ces fenouils présente plus d'estragole que de trans-anéthole. Nous avons précédemment distingué les lots 6-28 et 29-32,

n°	origine dénomination	% de fruits bruns ou couleur	% d' akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes (bruns)	nombre d'akènes bruns par gramme	akènes bruns, en centièmes de millimètre									
							longueur			largeur			épaisseur			
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	
6	J.B. de Glasnevin	0	7	47												
7	Vannes, Morbihan	53	41	22	3,4	290	473	9	0,07	185	6	0,13	98	3	0,10	
8	Huy, Belgique, <i>vulgare</i>	97	87	1	3,75	270	461	9	0,07	182	5	0,11	112	4	0,12	
9	Amay, Belgique, <i>vulgare</i>	100	98	11	3,0	330	445	20	0,16	180	6	0,11	96	4	0,14	
10	J.B. de Wisley	100	83	10	2,45	410	378	9	0,09	172	6	0,13	96	3	0,11	
11	Félines-Minervoais, Aude	100	81	7	1,95	510	396	11	0,08	156	7	0,14	80	4	0,17	
12	J.B. de Wisley	97	89	2	2,35	420	355	10	0,10	167	5	0,11	95	3	0,10	
13	Rennes, Ille-et-Vilaine	100	95	1	2,6	380	371	13	0,13	150	5	0,12	89	5	0,18	
14	J.B. de Bordeaux	100*	91*	23*	1,65*	600 *	352*	26	0,14	158*	11	0,13	87*	7	0,15	
15	J.B. de Bordeaux	98	98	26	1,85	540	369	13	0,14	152	6	0,17	70	5	0,29	
16	Fréjus, Var, <i>piperitum</i>	97	98	8	1,45	700	347	11	0,12	143	6	0,17	80	4	0,18	
17	Roccastrada, Italie	12	26	35	2,95*	340 *	449*	18	0,09	159*	6	0,09	92*	4	0,10	
18	Allauch, Bouches-du-Rhône	100	90	3	2,5	400	386	17	0,16	154	7	0,17	90	5	0,20	
19	Aniane, Hérault	100	89	5	1,9	530	342	12	0,13	154	6	0,13	87	4	0,17	
20	Abbaye de Valmagne, Hérault	100	89	5	1,7	590	319	12	0,14	141	6	0,15	85	3	0,13	
21	Vias, Hérault	78	76	8	2,7	370	407	14	0,12	153	5	0,11	99	5	0,20	
28	Conques-sur-Orbiel, Aude	100	80	22	2,9	340	377	14	0,14	139	5	0,12	81	4	0,16	
	moyenne \bar{x}	84	78	14	2,45	440	389			159			90			
29	condimentaire, Ducros	5	4	13	5,65	180	668	25	0,14	189	10	0,20	102	4	0,15	
30	Northrup King Seeds, <i>dulce</i>	48	38	15	3,9	260	479	29	0,22	144	6	0,16	66	4	0,20	
31	condimentaire, Mac Cormick	± verts	26	11	4,25*	240 *	641	28	0,16	180	8	0,17	95	4	0,16	
32	condimentaire, Pacha	clair	16	20	5,1	200	632	28	0,16	187	7	0,15	100	4	0,14	
	moyenne \bar{x}		21	15	4,7	220	605			175			91			

Tableau 33: Caractéristiques de 21 échantillons de fruits, dont l'essence présente nettement plus d'estragole que de trans-anéthole, classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène/limonène+ β -phellandrène.

*: petit échantillon

•: se rapporte à des akènes brun-vert

J.B.: Jardin Botanique

Intervalle de Confiance à 5 % IC= $t \times s/\sqrt{n}$, t étant donné dans la table de distribution de Student-Fisher et égal à 1,96 pour plus de 30 mesures

Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} avec écart-type estimé $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, n étant le nombre de mesures

ces derniers étant moins riches en essence et possédant un fort pourcentage de limonène. Ces 2 groupes peuvent aussi être différenciés par les caractères des semences (tab. 33). Les échantillons 29-32 ont en effet des akènes plus longs (6.0 contre 3.9 mm), plus larges (1.7 contre 1.6 mm), et plus lourds (4.7 contre 2.4 g par 1000 akènes). Leurs semences sont, de surcroît, moins dissociées, mais c'est sans-doute dû à un manque de maturité, comme le laisse prévoir le faible pourcentage de fruits bruns.

Les lots 29 et 31 ont des fruits de taille comparable, mais de poids différents, ce qui ne suffit pas, à notre avis, pour rejeter l'hypothèse préalablement suggérée d'une origine commune de ces 2 fenouils condimentaires.

Par contre, les échantillons 30 et 32, qui ont un même profil de l'essence des akènes, ne proviennent probablement pas d'un même fournisseur, car ils diffèrent non seulement par la teneur en essence (2.4 et 1.4 g par 100 g de matière sèche), mais aussi par la taille et le poids des fruits.

c) Echantillons 33-48

Ce groupe, hétérogène par les pourcentages d'estragole et de trans-anéthole de l'essence des fruits, l'est encore par les caractères des semences. Le poids varie dans un rapport de 1 à 4; la longueur et la largeur du simple à plus du double. Le fenouil cultivé à Chaouen, au nord du Maroc, a les akènes les moins longs et les plus légers. Les fenouils de Hongrie (lots 36-38 et 42) ont, par contre, des akènes longs, larges et lourds. La taille et le poids sont voisins pour les fruits des 2 échantillons d'Argentine (n°44 et 48).

d) Echantillons 49-85

Les valeurs correspondant au lot 66 n'ont pas été reportées dans le tableau 35 en raison d'un manque très net de maturité des semences. Il en est de même du fenouil du Tibesti, pour lequel nous ne disposons que de quelques fruits.

n°	origine dénomination	% de fruits bruns	% d' akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes (bruns)	nombre d'akènes (bruns) par gramme	akènes, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
33	Vila Franca, Portugal	31	37	4	2,3	430	426	13	0,11	149	4	0,11	81	4	0,19
34	<i>Foeniculum scoparium</i> Quézel						466*	56	0,11	149*	7	0,04	116*	33	0,11
35	cultivé, Chaouen, Maroc	15	22	19	1,55	650	314	14	0,16	117	5	0,16	73	3	0,16
36	"Budakalászi"	100	73	5	4,85	210	702*	36	0,12	231*	19	0,20	87*	7	0,19
37	Institut de Budakalász	100	76	0	5,85	170	728*	43	0,13	260*	15	0,14	108*	7	0,16
38	Hongrie, "Budakalászi"	100	86	7	6,85	150	721	34	0,17	240	10	0,14	97	5	0,17
39	Belgique	100	88	11	5,15	200	643	18	0,10	188	6	0,12	98	5	0,20
40	Strasbourg-Robertsau	100	96	5	2,05	490	612	12	0,11	156	4	0,10	81	3	0,14
41	"bronzed leaved form"	100	90	15	2,15	470	364	12	0,12	153	5	0,12	89	3	0,12
42	J.B. de Debrecen	90	96	7	4,8	210	605	19	0,12	224	8	0,13	105	4	0,13
43	Lantenay, Côte-d'Or	70	71	2	2,55	390	408	9	0,09	171	6	0,12	100	4	0,16
44	Rama Calda, Argentine	100	78	18	2,75	370	509	12	0,09	154	4	0,10	86	2	0,08
45	J.B. de Madrid, <i>piperitum</i>	100	84	21	2,8	360	421	11	0,09	160	4	0,09	100	3	0,10
46	J.B. de Nantes	100	97	8	4,3	260	411	11	0,10	184	5	0,09	117	4	0,12
47	J.B. de Madrid	97	89	3	1,8	560	377	16	0,15	115	8	0,24	64	6	0,34
48	Luján de Cuyo, Argentine	34	42	38	2,85	350	495	17	0,13	149	6	0,17	87	3	0,12
	moenne \bar{x}	82	75	11	3,5	350	513			175			93		

Tableau 34: Caractéristiques de 16 échantillons de fruits, dont l'essence est riche en anéthole et présente plus de 5 % d'estragole

*: petit échantillon

J.B.: Jardin Botanique

Intervalle de Confiance à 5 % $IC = t \times s / \sqrt{n}$, t étant donné dans la table de distribution de Student-Fisher

Coefficient de Variation $CV = s / \bar{x}$ avec $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, n étant le nombre de mesures

Mis à part le lot 77, les fruits des fenouils 49-85 (tab. 35) sont de grande taille, d'une longueur d'au moins 4.2 mm, et 1000 akènes pèsent au moins 3.1 grammes. Le fenouil au feuillage "roux" (n°77), déjà remarquable par ses 49.1 % de fenchone dans l'essence des fruits, possède les akènes les moins lourds et de plus petites dimensions.

Les lots 78-85 sont, dans l'ensemble, moins mûrs et légèrement plus épais. Ils sont moins divisés mais le pourcentage d'akènes est très variable, allant de 4 à 99 %.

Les caractères des fruits ne permettent plus la séparation des échantillons 68, 78, 79 et 80-85.

n°	origine dénomination	% de fruits bruns ou couleur	% d' akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes bruns	nombre d'akènes bruns par gramme	akènes, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
49	Californie	100	100	3	4,65*	220 *	488	13	0,08	177	5	0,08	114	2	0,06
50	J.B. de Fominianus, 1980	100	93	10	4,15	240	624	35	0,20	177	7	0,16	89	3	0,15
53	cultivé en Hongrie, <i>dulce</i>	100	98	6	4,2	240	645	24	0,13	189	11	0,21	92	3	0,13
51	J.B. de Fominianus, 1981	100	91	27	3,8	260	564	18	0,12	165	8	0,18	85	5	0,23
54	"deutscher großfrüchtiger"	100	37	16	8,2	120	861	26	0,11	306	12	0,15	121	3	0,10
55	J.B. de Coimbra	69	67	17	3,2	310	426	9	0,08	172	5	0,10	101	3	0,12
56	J.B. de Bochum	99	99	16	5,05	200	618	30	0,17	232	7	0,11	107	4	0,14
57	Institut à Budakalász, <i>dulce</i>	100	73	12	4,1	240	591	18	0,11	192	7	0,13	97	4	0,15
58	Hongrie	100	96	13	5,1	200	726	21	0,11	228	5	0,09	102	3	0,12
59	Lens, Pas-de-Calais	100	95	16	3,65	280	587	11	0,07	205	4	0,08	105	3	0,09
60	Institut botanique de Moscou	100	100	29	7,9 *	130 *	777*	58	0,13	267*	9	0,08	125*	6	0,12
61	Laboratoires Yves Rocher	85	54	25	8,75*	120 *	871	47	0,16	284	14	0,16	121	7	0,20
62	Ampsin, Belgique, <i>vulgare</i>	93	1	7			896*	34	0,11	263*	11	0,12			
63	J.B. de Brno	90	85	11	3,35	300	564	15	0,09	164	5	0,11	89	3	0,12
64	J.B. de Brno, <i>dulce</i>	100	64	42	4,05*	250 *	623	35	0,17	206	17	0,27	98	6	0,21
65	J.B. de Brno, "Krajovy"	100	98	8	3,3	310	560	10	0,07	170	5	0,12	89	3	0,11
67	Ténériffe, Canaries, 1984	100	97	17	3,05	330	482	10	0,08	200	5	0,09	86	2	0,07
69	Institut à Gatersleben, <i>dulce</i>	97	97	1	6,15	160	573	18	0,12	231	8	0,12	123	4	0,12
70	inconnue, <i>vulgare</i>	100	58	2	5,55	180	637	25	0,14	169	5	0,10	73	3	0,14
75	J.B. de Brno	92	88	11	3,25	310	547	13	0,09	164	8	0,19	86	4	0,19
76	Jarville, Meurthe-et-Moselle	100	96	9	3,35	300	473	9	0,07	173	4	0,10	102	2	0,07
	moyenne \bar{x}	96	80	14	4,75	230	625			206			100		
77	Labos Yves Rocher, "roux"	100	86	37	2,15	470	328	13	0,14	125	5	0,15	71	4	0,19
78	<i>dulce</i>	86	4	2	6,65	150	806	21	0,10	250	9	0,13	130	5	0,14
79	Hermalle-sous-Argenteau	63	99	3	3,85	260	426	7	0,06	213	5	0,08	109	6	0,20
68	Ténériffe, Canaries, 1982	4	40	3	3,2 *	310 *	492*	11	0,08	192*	5	0,10	102*	5	0,17
80	J.B. de Wisley	100	58	9	4,45*	220 *	542	26	0,14	193	12	0,17	99	10	0,27
81	Nador, nord-est du Maroc	58	27	19	4,5	220	611	23	0,14	195	7	0,13	103	3	0,11
82	condimentaire, Cigalou	4	7	22	4,55	220	588	23	0,14	151	5	0,12	101	3	0,12
83	commerce, Egypte	± jaune	20	23	3,75*	270 *	525*	20	0,14	168*	7	0,16	101*	3	0,12
84	condimentaire, Amora	87	4	18	4,75	210	579	19	0,12	169	5	0,11	111	3	0,11
85	bazar d'Istanbul, Turquie	29	27	6	5,35	190	742	22	0,11	232	10	0,15	113	3	0,11
	moyenne \bar{x}		32	12	4,55	230	590			196			108		

Tableau 35: Caractéristiques de 31 échantillons de fruits, dont l'essence, riche en trans-anéthole, présente moins de 5 % d'estragole, classés dans l'ordre décroissant du rapport α -pinène/limonène+ β -phellandrène,

*: petit échantillon

°: se rapporte à des diakènes bruns °: se rapporte à des akènes non bruns

Intervalle de Confiance à 5 % IC= $1,96 \times s/\sqrt{n}$, n étant le nombre de mesures

Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} avec $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$

Plusieurs fenouils nous ont été fournis comme appartenant à la variété "dulce". Selon la littérature, les akènes du fenouil doux seraient peu séparables. En fait, nous constatons une grande variabilité, le pourcentage d'akènes allant de 4 % (n°78) à 97 (n°69) et 98 % (n°53).

Parmi les lots de rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne inférieur à 1, nous avons remarqué que les échantillons 78 et 85, qui ne présentent que 2.0 et 1.2 % de fenchone dans l'essence des akènes, possèdent les fruits les plus longs, les plus larges et les plus épais. De même, le fenouil de Nador (n°81) n'a que 5.2 % de fenchone pour des akènes relativement longs.

e) Fenouils d'Asie orientale

Les lots 86-93 possèdent des fruits de grande taille, assez lourds, et peu mûrs (tab. 36). Le plus fort pourcentage d'akènes, de 66 %, est observé pour le fenouil fourni par le Jardin Botanique de Pékin (n°87). Il ne dépasse pas 12 % pour les lots provenant du sous-continent indien, où les semences sont souvent utilisées comme apéritif et sont alors récoltées avant complet mûrissement.

n°	origine	couleur des fruits	% d'akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes	nombre d'akènes par gramme	akènes, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
86	Bangalore, Inde (sud)	vert à 91%	7	24	5,35*	190 *	623*	30	0,07	163*	15	0,15	106*	9	0,15
87	Pékin, Chine	brun-vert	66	19	4,2	240	579	23	0,15	197	7	0,14	100	4	0,16
88	Chandigarh, Inde (nord)	vert-jaune	3	26	4,75*	210 *	526	18	0,11	141	5	0,13	81	4	0,16
89	Bangladesh	vert à 72%	4	32	3,75	270	607*	41	0,15	189	8	0,15	95	4	0,14
90	Bangladesh	brun-clair	0	7			636*	110	0,12	208*	35	0,16	99	12	0,12
91	Pakistan	vert-jaune	5	26	3,6 *	280 *	530	22	0,12	146	6	0,12	95	4	0,12
92	mélange, Bangladesh	jaune	16	24	4,6	220	517	22	0,15	165	7	0,15	108	4	0,13
93	Hôtel indien, Vancouver	vert à 96%	4	4											
	moyenne \bar{x}		13	20	4,4	230	574			173			98		

Tableau 36: Caractéristiques de 8 échantillons de fruits asiatiques, classés dans l'ordre croissant des composés monoterpéniques.

*: petit échantillon

Intervalle de Confiance à 5 % IC= $t \times s/\sqrt{n}$,

t étant donné dans la table de distribution de Student-Fisher

Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} , avec $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$, n étant le nombre de mesures

n°	désignation	% de fruits bruns	% d'akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes bruns	nombre d'akènes par gramme	akènes bruns, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
94	"Sperling's Perfection"	100	73	35	4,65	210	650	25	0,13	195	9	0,17	106	4	0,15
95	Weibulls, Suède	81	60	31	3,85	260	544	20	0,14	190	8	0,16	104	3	0,11
96	"F de Florence", Watrinet	96	64	25	4,2	240	515	18	0,12	176	6	0,14	117	4	0,12
97	Semillas Germinadora, Argentine	100	53	18	3,5	280	458	18	0,15	175	7	0,15	99	3	0,10
98	"Fenouil d'été", Vilmorin	99	93	9	2,9	350	480	15	0,12	150	6	0,15	93	3	0,12
99	"Latina", Clause	100	89	12	2,95	340	439	18	0,15	150	6	0,14	94	3	0,13
100	"Doux de Florence", Vita	100	95	10	3,85	260	479	14	0,11	167	5	0,12	103	3	0,10
101	I.N.T.A., Argentine	100	94	8	3,3	300	448	13	0,11	161	5	0,11	99	3	0,11
102	Hammenhögs, Suède	96	94	8	3,05	330	413	15	0,14	138	6	0,15	66	3	0,19
103	"F de Florence", Léonard	98	93	14	3,65	280	510	19	0,14	169	6	0,13	102	3	0,10
104	"F de Florence", Les dgts vrts	87	88	14	4,45	220	571	15	0,10	179	7	0,15	111	3	0,11
105	"F de Florence", Seminar	100	58	20	3,45	290	451	21	0,16	162	7	0,16	102	3	0,11
106	"F doux de Florence", Tézier	100	97	9	3,25	310	472	19	0,15	167	5	0,12	95	3	0,11
107	"F de Florence", Vilmorin	91	92	11	3,5	290	461	16	0,12	168	6	0,13	103	3	0,12
108	"F doux de Florence", Le Paysan	94	89	18	3,7	270	494	22	0,17	168	7	0,15	101	3	0,12
109	"Domino", Clause	93	94	10	3,95	260	487	23	0,17	178	7	0,16	101	3	0,12
110	"Géant Mamouth Perfection"	100	89	10	3,45	290	484	19	0,15	169	6	0,15	96	3	0,11
111	"De Mantoue race Solar"	100	95	16	3,2	310	459	15	0,13	164	6	0,15	91	4	0,16
112	"Hâtif de Genève", Clause	96	69	9	3,2	310	432	16	0,14	168	6	0,14	98	3	0,12
113	Hyde Park, Angleterre	100	82	5	3,3 *	300 *	525	17	0,10	170	7	0,11	95	5	0,15
moyenne \bar{x}		97	83	15	3,55	280	489			168			99		

Tableau 37: Caractéristiques des fruits de 20 fenouils bulbeux.

*: petit échantillon

Intervalle de Confiance à 5 % IC= $1,96 \times s/\sqrt{n}$, n étant le nombre de mesures

Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} , avec écart-type estimé $s=\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2/(n-1)}$

f) Fruits de fenouil bulbeux

Les fruits des lots 94-113 sont de taille et de poids homogènes (tableau 37). Ils sont de moyenne dimension, atteignant leur longueur et leur largeur maximales pour le lot 94 (6.5 et 1.95 mm) et minimales pour le lot 102 (4.1 et 1.4 mm). Le poids de 1000 akènes fluctue de 2.9 (n°98) à 4.65 grammes (n°94). Le pourcentage de fruits courbes varie dans des proportions plus importantes, de 5 (n°113) à 35 % (n°94).

g) Conclusion

α) Caractéristiques des divers groupes de lots

Nous avons reporté dans la tableau 38 les valeurs moyennes et limites de quelques caractères des fruits des différents groupes de fenouils.

lots		% de fruits bruns	% d'akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes (bruns)	akènes, en centièmes de mm		
						longueur	largeur	épaisseur
1-3	minimum		7	6	2,95	406	143	68
	moyenne \bar{x}		28	25	3,25	435	153	81
	maximum	100	44	57	3,75	469	159	88
4 Portugal		65	63	14	2,05	380	129	85
5 Rabat, Maroc, cultivé		100	32	19	2,1	346	127	91
6-21,28	minimum	0	7	1	1,45	319	139	70
	moyenne \bar{x}	84	78	14	2,45	389	159	90
	maximum	100	98	47	3,75	473	185	112
29-32	minimum		4	11	3,9	479	144	66
	moyenne \bar{x}		21	15	4,7	605	175	91
	maximum		38	20	5,65	668	189	102
33-48	minimum	15	22	0	1,55	314	115	64
	moyenne \bar{x}	82	75	11	3,5	513	175	93
	maximum	100	97	38	6,85	728	260	117
49-51, 53-65, 67, 69, 70, 75, 76	minimum	69	1	1	3,05	426	164	73
	moyenne \bar{x}	96	80	14	4,75	625	206	100
	maximum	100	100	42	8,75	896	306	123
77 Labos Y. Rocher, "roux"		100	86	37	2,15	328	125	71
68, 78-85	minimum		4	2	3,2	426	151	99
	moyenne \bar{x}		32	12	4,55	590	196	108
	maximum	100	99	23	6,65	806	250	130
86-93	minimum		0	4	3,6	517	141	81
	moyenne \bar{x}		13	20	4,4	574	173	98
	maximum		66	32	5,35	636	208	108
94-113	minimum	81	53	5	2,9	413	138	66
	moyenne \bar{x}	97	83	15	3,55	489	168	99
	maximum	100	97	35	4,65	650	195	117

Tableau 38: Valeurs moyennes et limites de quelques caractères des fruits des différents groupes de lots établis à partir de l'étude de l'essence des semences.

Les groupes d'échantillons 1-3, 4-5, 6-28, et le fenouil "roux" (n°77) possèdent des akènes courts, assez étroits et légers. En outre, les lots 1-3, 29-32, 68, 78-85 et 86-93 ont, dans l'ensemble, des fruits peu séparés. Les séries 1 et 2 envisagées précédemment ne peuvent être différenciées à partir des caractères des semences. Une distinction semble possible entre les échantillons aux longs akènes des fenouils d'Asie orientale, et ceux, de taille généralement inférieure, des fenouils bulbeux. Parmi les fenouils dont l'essence des fruits présente un pourcentage d'estragole nettement supérieur à celui de trans-anéthole, la taille est une raison supplémentaire pour différencier les lots 29-32 des échantillons 6-28.

Le fenouil cultivé à Chaouen au Maroc (n°35) possède les akènes les moins longs (seulement 3.14 mm) alors que celui récolté à Ampsin, en Belgique, a des diakènes qui atteignent 8.96 mm (n°62). La photo 5 de la planche 1 permet de mieux visualiser la variabilité de taille: nous avons placé côte à côte un akène du fenouil de Chaouen (n°35) et un autre, beaucoup plus gros, du cultivar "deutscher Großfrüchtiger" (n°54).

β) Analyse des coefficients de corrélation

Les coefficients de corrélation linéaire ont été calculés pour les 101 lots des tableaux 32-37. On constate un coefficient élevé entre la longueur et la largeur des fruits, et plus faible entre l'épaisseur et la largeur ou la longueur:

longueur - largeur	r= 0,81	n=98
épaisseur - largeur	r= 0,67	n=98
épaisseur - longueur	r= 0,51	n=98

Plus les fruits sont de grande dimension, plus leur poids tend à être important:

longueur - poids de 1000 akènes	r= 0,88	n=96
largeur - poids de 1000 akènes	r= 0,83	n=96
épaisseur - poids de 1000 akènes	r= 0,66	n=96

La séparation des akènes, très variable selon les lots, tend à augmenter avec le mûrissement: r=0.71 entre les pourcentages de fruits bruns et d'akènes.

Une maturation incomplète entraînerait un plus grand nombre de fruits verts, non dissociés et courbes:

% de fruits courbes - % d'akènes	r=-0,31	n=98
% de fruits courbes - % de fruits bruns	r=-0,25	n=91

Les akènes les plus longs et les plus lourds tendraient à renfermer plus d'essence:

mg d'essence / 1000 akènes - longueur	r= 0,54	n=96
mg d'essence / 1000 akènes - nombre d'akènes / g	r=-0,40	n=96

Il n'apparaît pas de relation entre la longueur des akènes et leur richesse en fenchone ($r=-0.11$, $n=99$). Les lots 78, 81 et 85 doivent peut-être leur faible taux de ce terpène et leur taille relativement élevée à l'effet de la sélection.

3) Observation des plantules

Nous n'avons cultivé qu'un faible nombre de pieds, notre objectif se limitant à ne mettre en évidence que les différences les plus frappantes. Nous inspirant des travaux de CERCEAU-LARRIVAL (1965), nous nous sommes particulièrement intéressé aux caractères des plantules.

En mars 1983, nous avons semé une quantité connue d'akènes et de diakènes des échantillons alors disponibles: de 3 %, 21 jours après le semis, le pourcentage de germination passe rapidement à 17 et 28 % à 28 et 35 jours, et atteint 34 et 35 % à 46 et 50 jours. La germination est plus rapide et importante pour les fenouils bulbeux du commerce. Elle n'est pas nulle pour l'échantillon n°49, malgré une récolte datant de 7 ans.

D'autres semis ont été réalisés, avec pour principal but l'observation des plantules. Ces dernières possèdent habituellement 2 cotylédons opposés et linéaires. Les 2 premières feuilles sont disposées perpendiculairement aux cotylédons. Ces feuilles "primordiales" se distinguent des feuilles suivantes, dites "stériles" et situées dans le même plan, par une découpe moins prononcée du limbe. La disposition (sub)distique des feuilles primordiales et stériles paraît toujours respectée.

Certaines plantules se distinguent tout de suite par la coloration brunâtre de leurs parties aériennes: c'est le cas du fenouil "bronzed-leaved form" (n°41) fourni par la Société Royale d'Horticulture de Grande Bretagne, du fenouil "roux" (n°77, planche 1, photo 2) envoyé par les Laboratoires Y. Rocher, et du lot n°15, du Jardin Botanique de Bordeaux. La photo 2 montre un développement racinaire non négligeable et une coloration brune qui n'affecte pas la partie inférieure de l'hypocotyle, enfoncée dans le sol. Les autres plantules ont un coloris

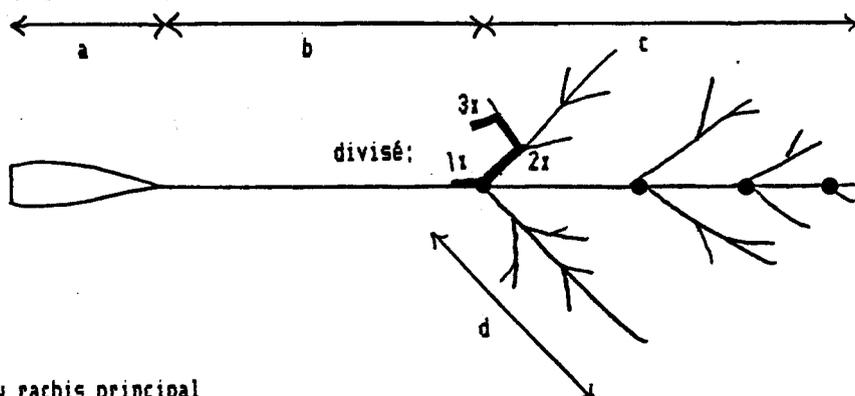
vert plus ou moins foncé, plus clair pour les jeunes feuilles. La partie de l'hypocotyle non enfoncée dans le sol est généralement teintée de rose.

Les plantules du groupe de lots 1-3, dont l'essence des fruits est dénuée d'anéthole et d'estragole et présente les pics α et β , sont les seules à posséder des segments foliaires rigides et charnus. Ces caractères correspondent bien à ceux donnés dans la littérature pour les feuilles de la sous-espèce *piperitum*. D'ailleurs, les lots 1-3 nous ont tous été fournis comme appartenant à cette sous-espèce.

Les plantules des lots n°1 et 3 possèdent encore un aspect glauque particulier, avec des lanières très mates. Les plantules des autres échantillons, et en particulier celles du lot n°5, dont l'essence des fruits ne présente pratiquement pas d'anéthole et d'estragole, sont parfois un peu pruneuses mais jamais aussi nettement glauques; leurs segments foliaires sont souvent luisants.

Nous avons effectué quelques mesures de taille, en tenant compte du stade physiologique estimé par le nombre de feuilles visibles: longueur de la partie située hors du sol de l'hypocotyle, longueur des cotylédons et dimensions de la première feuille, selon le schéma ci-après. Nous avons aussi estimé le degré de découpage de la feuille des 2 manières suivantes:

- en calculant, par exemple, le nombre de noeuds le long du rachis principal du limbe
- en observant le nombre maximum de divisions du limbe, la première division correspondant à la jonction entre le rachis principal et l'un des 2 premiers rachis latéraux, comme l'indique le schéma ci-dessous.



- : emplacement des noeuds du rachis principal
- a: longueur de la gaine
- b: longueur du pétiole diminuée de celle de la gaine
- c: longueur du rachis principal du limbe
- d: longueur de l'un des 2 premiers rachis latéraux du limbe

stade; nombre de feuilles	longueur en millimètres de des cotylédons						première feuille primordiale, longueur en mm																	
				de l'hypocotyle hors du sol			de la gaine		du pétiole sans la gaine		du rachis principal du limbe		d'l des 2 premiers rachis latéraux											
	0	1	2	0	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2										
n° 1,3	\bar{x}	44		4			13		20		19		10											
n° 8,10-12,15,17,18,21,28	\bar{x}	34	43	42	4	3	1	8	10	21	27	20	25	11	14									
n° 33,35,37-41,44,45,47,48	\bar{x}	32	42	37	4	3	2	10	13	24	30	25	27	16	17									
n° 49-51,54-56,58-65,68,69,72,75	\bar{x}	46	45	51	6	5	3	11	12	25	31	23	27	14	17									
n° 94,99-101,105,109-112	\bar{x}	48		7			8		12		17		27		45		29		45		18		26	
ensemble des observations	\bar{x}	41	44	48	5	5	4	11	12	25	33	25	29	15	18									
avec les n° 77, 79 et 80	s	15	10	11	3	3	4	4	4	9	12	9	11	5	7									
nombre total d'observations		28	58	43	27	59	44	59	44	60	44	58	44	57	41									

Tableau 39: Caractères des plantules de fenouils au stade cotylédonaire, 1 et 2 feuilles primordiales; taille des cotylédons, distance du noeud cotylédonaire à la surface du sol; et, pour la première feuille primordiale, longueur de la gaine, du reste du pétiole, du rachis principal du limbe et d'l des 2 premiers rachis latéraux formant la base du limbe. Les échantillons cultivés dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille en 1983 ont été séparés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits.

Ecart-type estimé $s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, \bar{x} étant la moyenne et n le nombre de mesures

L'ensemble des mesures effectuées sur les plantules semées en 1983 (tableau 39) met en évidence une augmentation de taille des cotylédons et de la première feuille primordiale au cours de la croissance. Par contre, la longueur de l'hypocotyle au dessus du sol tend plutôt à diminuer. Elle passe ainsi, pour le groupe de lots 49-76, de 6 mm au stade cotylédonaire à 5 et 3 mm aux stades 1 et 2 feuilles, et 1 mm au stade 4 feuilles. Selon BRUCH (1956), une contraction longitudinale de la racine serait à l'origine de l'enfoncement de l'axe de la pousse dans le sol.

Le groupe des fenouils bulbeux (lots 94-113) possède les plantules de plus grande taille, avec un hypocotyle, des cotylédons et une première feuille primordiale bien développés. Les plus grands cotylédons dépassent 7 cm et ont été observés sur une plantule du cultivar "Hâtif de Genève" (n°112). Celle d'un fenouil fourni par un Institut argentin (n°101) possède la plus

grande première feuille primordiale. La gaine semble occuper une longueur importante du pétiole pour le groupe de lots 1-3.

Ajoutons que la première feuille est divisée 2 à 3 fois, avec des valeurs moyennes pour les différents groupes, comprises entre 2.7 et 2.9.

Des plantules correspondant à 3 autres groupes de lots ont été observées en 1987 à Longwy (tab. 40). Les conditions de culture, différentes de celles de 1983, peuvent expliquer une moins bonne croissance. On constate, à nouveau, une augmentation de taille des cotylédons et de la première feuille avec la croissance, alors que la partie de l'hypocotyle située hors du sol tend à diminuer.

Les lots 29-32 pourraient être caractérisés par un hypocotyle de grande taille. On notera aussi une assez faible division du limbe de la première feuille, sauf pour les lots 29-32.

	longueur en millimètres des cotylédons				première feuille primordiale, longueur en mm								nombre de fois que la première feuille est divisée	
	de l'hypocotyle hors du sol		de la gaine		du pétiole sans la gaine		du rachis principal du limbe		d'l des 2 premiers rachis latéraux					
nombre de feuilles	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
n° 29-32 \bar{x}	33	45	12	12	8	10	20	33	14	22	11	15	2,9	
n° 81,82,84,85 \bar{x}	30	34	4	5	6	7	14	13	11	11	7	8	2,5	
n° 86-91 \bar{x}	32	32	4	2	9	9	19	19	18	16	13	11	2,6	
ensemble des observations	\bar{x}	31	36	6	5	6	8	15	17	12	13	8	10	2,6
	s	7	7	4	5	2	2	6	10	4	6	3	4	0,6
	n	55	47	29	22	38	48	38	45	35	43	35	45	96

Tableau 40: Caractères des plantules de fenouils au stade 1 et 2 feuilles primordiales; taille des cotylédons, distance du noeud cotylédonaire à la surface du sol; et, pour la première feuille primordiale, longueur de la gaine, du reste du pétiole, du rachis principal du limbe et d'l des 2 premiers rachis latéraux formant la base du limbe. Les échantillons, semés le 6/5/1987 à Longwy, ont été séparés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits.

Ecart-type estimé $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$, \bar{x} étant la moyenne et n le nombre de mesures

5) Observation de la plante adulte

a) Feuilles

Les pieds adultes des lots 15 (planche 1, photo 6), 41 et 77 se distinguent par la coloration brunâtre des parties aériennes. Les autres fenouils ont des feuilles plus ou moins vertes. La teinte n'est pas forcément homogène pour une même origine. Les feuilles sont généralement d'un vert plus foncé pour le groupe de lots 6-28 et plus clair pour les fenouils bulbeux.

Le groupe de lots 1-3 présente des feuilles très particulières. Leurs caractères répondent assez bien à ceux décrits pour la sous-espèce *piperitum*. Leur aspect glauque semble dû à une importante cuticule: les segments deviennent luisants quand on les frotte. La croissance des feuilles dépend de toute évidence des conditions de culture, et en particulier de l'irrigation. La photo 12 (planche 2) représente 3 feuilles d'une tige du pied n°3c en deuxième année de croissance: la taille variable des segments conduit à un aspect très différent des limbes. Elle peut n'être que de quelques millimètres et caractérise alors bien le groupe de lots 1-3. Mais la distinction devient difficile quand les segments sont plus longs. Elle est quasiment impossible si le caractère charnu n'est pas bien marqué. Nous avons rencontré une ambiguïté similaire dans l'observation d'une population de fenouils à Vannes dans le Morbihan (n°7): certaines feuilles de quelques pieds nous ont fait penser qu'on avait peut-être affaire à une forme intermédiaire entre les sous-espèces *capillaceum* et *piperitum*, hypothèse qui a dû être rejetée après analyse de l'essence des fruits.

Les segments des fenouils bulbeux sont généralement allongés et fournis. L'un des 4 pieds du lot n°48 provenant d'Argentine présentait des feuilles stériles qui nous ont paru "frisées" (planche 2, photo 8). Le caractère divariqué des segments n'est particulier à aucun groupe; les pieds 17b, 33a et b, 47a, 55a, présentaient une allure un peu "en zig-zag" des divisions du limbe.

PLANCHE 1

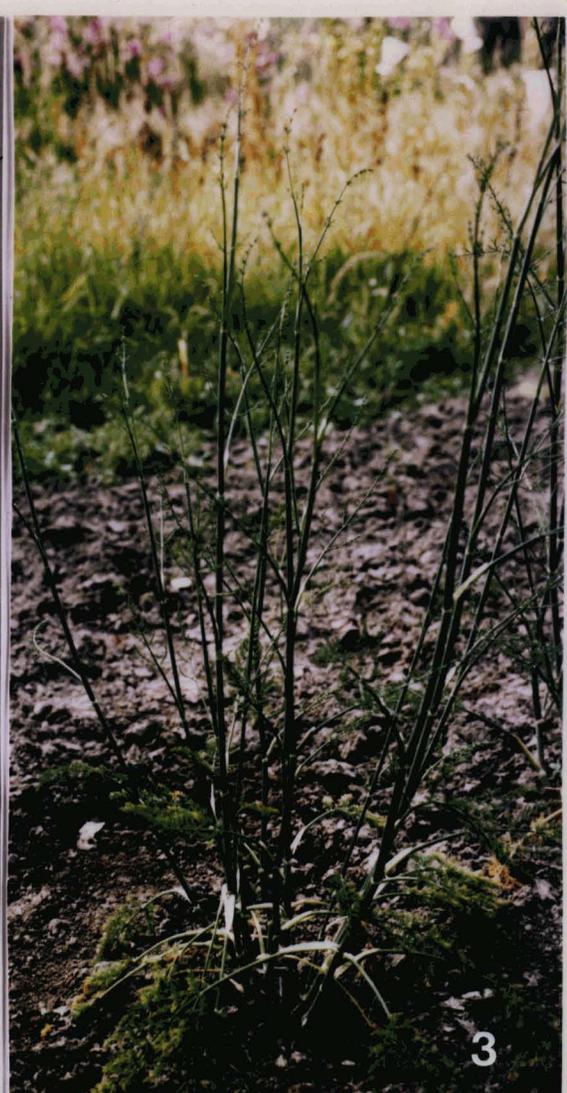
- Photo 1:** Insertion d'un rameau sur la tige principale d'un fenouil provenant de l'Institut de Budakalász en Hongrie (n°37b). La photo a été prise 174 jours après le semis. Les stries de la tige sont peu marquées.
- Photo 2:** Plantule obtenue, 53 jours après le semis d'un fenouil "roux" (n°77) fourni par les Laboratoires de cosmétologie Yves Rocher. Les parties aériennes sont colorées en brun.
- Photo 3:** Port particulier du fenouil provenant de Mèze, dans l'Hérault, et qui correspond à la sous-espèce *piperitum*. Ce pied (n°3b), semé le 28/03/1983, a été photographié en 2^{ème} année de croissance, le 21/07/1984, alors qu'il n'était pas encore en fleurs.
- Photo 4:** Sommité fleurie, 129 jours après le semis, d'un pied de fenouil bulbeux, cultivar "Hâtif de Genève" (n°112a). La tige principale, les rameaux latéraux et les rayons de l'ombelle primordiale sont épais et les segments foliaires allongés.
- Photo 5:** La différence de taille est marquée quand on place, côte à côte, 2 akènes provenant du fenouil cultivé à Chaouen (n°35), au nord du Maroc, et du cultivar "deutscher Großfrüchtiger" (n°54) (textuellement "allemand à gros fruits").
- Photo 6:** Jeune pied (n°15a), 99 jours après le semis, d'un fenouil provenant du Jardin Botanique de Bordeaux. Il s'agit d'une forme ornementale à feuillage brunâtre.



1



2



3



4



5



6

feuille	nombre de noeuds du rachis principal									
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
n° 1,3	\bar{x} 4,5	6	8	10	11	10	11	11,5	11,5	
n° 8-12,15,17,18,21,28	\bar{x} 4	5,5	7,5	9	9,5	9,5	9,5	10		
n° 33,35,37-41,44,45,47,48	\bar{x} 3,5	5,5	7	8	8,5	9	9,5	9,5	10	8
n° 49-51,54-56,58-65,68,69,71,72,75	\bar{x} 4	5,5	7,5	9	9	9	9,5	9,5	9	8,5
n° 94,99-101,105,109-112	\bar{x} 3,5	5	7,5	9	9,5	10	10	10,5	10,5	9,5
ensemble des observations	\bar{x} 4	5,5	7,5	9	9	9,5	10	10	10	9
avec n° 77,79 et 80	s 1	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2,5
nombre total d'observations	121	114	108	106	100	87	77	59	36	15

Tableau 41: Nombre moyen de noeuds du rachis principal des 10 premières feuilles de fenouils cultivés en 1983 dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille, séparés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits.
 Ecart-type estimé $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, \bar{x} étant la moyenne et n le nombre de mesures

Afin de mettre en évidence d'éventuelles différences du degré de découpage du limbe, nous avons mesuré, pour les lots cultivés en 1983, le nombre de noeuds du rachis principal des 10 premières feuilles de la tige principale (tab. 41). Ce nombre passe en moyenne de 4 à 6 pour les feuilles primordiales à un maximum de 10 entre la 7^{ème} et la 9^{ème} feuille, puis il diminue et n'est plus que de 9 à la 10^{ème} feuille et de 7 à la 11^{ème}. Il semble être plus important pour le groupe de fenouils 1-3, bien que nous n'ayons observé que 3 pieds du lot n°1, et 5 du lot n°3.

Le limbe est de contour triangulaire. Il paraît plus allongé pour le groupe de lots 1-3, après calcul du rapport des dimensions du rachis principal et d'un des 2 premiers rachis latéraux sur diverses feuilles.

PLANCHE 2

Photo 7: Jeune pied de Fenouil de Florence (n°105), 135 jours après le semis. Le renflement des gaines aboutit à la formation d'un "bulbe".

Photo 8: Aspect frisé des feuilles observé sur un pied (n°48c) de fenouil provenant de Luján de Cuyo, en Argentine. Le semis a eu lieu 129 jours auparavant.

Photo 9: Jeune pied de fenouil provenant de Mèze, dans l'Hérault (n°3), 104 jours après le semis. La courbure des gaines et l'étalement des limbes sur le sol semblent pouvoir caractériser la sous-espèce *piperitum*.

Photo 10: Semis en pots de plastique étiquetés et enfoncés dans le sable d'une couche.

Photo 11: Fenouil doux correspondant à un clone obtenu par culture *in vitro* à l'I.R.A.B., avec un milieu d'enracinement dénué d'auxine (clone 1000). Le pied est en pleine floraison, 147 jours après le semis. On remarquera l'abondance d'ombelles, de tiges et de rameaux penchés, responsables d'un port assez particulier.

Photo 12: Aspects différents de 3 feuilles caulinaires prélevées à 3 niveaux différents (base, milieu et haut de tige) en 2^{ème} année de croissance sur un même pied (n°3c) d'un fenouil provenant de Mèze dans l'Hérault et correspondant à la sous-espèce *piperitum*.

Photo 13: Hybride obtenu à partir du croisement d'un fenouil à feuillage roux (♀ 15) avec un fenouil bulbeux cultivar "Hâtif de Genève" (♂ 112). Le pied, semé 188 jours auparavant, présente un petit bulbe, caractère qui ne peut provenir que du parent mâle, et une absence de coloration brunâtre des feuilles.

La gaine des feuilles stériles est caractéristique pour le groupe de lots 1-3. Elle est arquée de telle manière que le limbe se trouve plaqué sur le sol (planche 2, photo 9). Nous avons nettement retrouvé ce caractère dans l'herbier du Muséum de Paris pour un fenouil des Canaries récolté en 1906 à Guïa (Gran-Canarià) par PITARD et appelé "*Foeniculum piperitum* DC."

Les fenouils bulbeux se remarquent aisément par les gaines charnues des feuilles stériles de la tige principale; elles sont emboîtées sur 2 rangées et forment un bulbe, sans qu'un buttage soit nécessaire (planche 2, photo 7). Un gros bulbe, de 13 cm de large au 141^{ème} jour de culture, a été observé pour un pied du cultivar "Hâtif de Genève" (n°44). Les lots 79-82 et ceux d'Asie orientale ne présentent pas un renflement prononcé des gaines, malgré une essence des fruits voisine de celle des semences des fenouils bulbeux. Par contre, une tendance à la formation d'un bulbe étroit, d'environ 2 cm de large, peut se rencontrer (pied 80a par exemple).

Les feuilles stériles du fenouil bulbeux sont de grande taille, et certaines d'entre elles peuvent dépasser 75 cm, comme nous l'avons observé pour un pied du lot n° 105.

La première feuille fertile est insérée sur le noeud de la tige principale d'où part la première ombelle, que nous appellerons "primordiale" et qui est d'abord terminale avant de se trouver déjetée. Les feuilles fertiles suivantes tendent à être réduites à la gaine. Elles ne sont pas situées dans un même plan, alors que les feuilles stériles sont distiques, voire subdistiques. L'involucre et l'involucelle ne sont pas totalement absents: au moins une ombelle possède un involucre pour les pieds 58a, 63b, 69b, 110b, et un involucelle pour les pieds 39a, 56a, 63b, 69a.

b) Tige et ramifications

La tige principale est parfois recouverte de pruine et est plus ou moins verte, avec une intensité de coloration qui peut varier entre les pieds d'un même lot comme le n°60. Elle est peu striée (planche 1, photo 1) et souvent lignifiée à la base en fin de croissance. Sa largeur dépend du stade de développement et diminue nettement avec la maturation, probablement suite à une perte d'eau. Cette largeur est toujours importante pour les fenouils bulbeux et atteint 3 cm (planche 1, photo 4) pour un pied du cultivar "Hâtif de Genève" (n°112).

La tige principale, plus ou moins droite, a présenté parfois un aspect en "zig-zag", en particulier pour les pieds 1a, 11c, 18a, 28b, 45c, 55b et 57a. Cet aspect n'est caractéristique d'aucun groupe mais semble absent pour les fenouils bulbeux.

Nous avons recherché d'éventuelles différences de taille et de montaison entre les divers groupes en utilisant les pieds semés en mars 1983 (tab. 42). Nous avons choisi de retenir pour la taille la longueur de la tige principale. Comme cette dernière n'est pas toujours droite, nous avons mesuré la longueur totale de ses entre-noeuds.

Le groupe de lots 1-3 et celui des fenouils bulbeux ont une montaison tardive, aboutissant à une taille élevée. Le premier groupe a une montaison particulièrement tardive, qui contraste nettement avec celle très précoce observée pour le fenouil des Canaries (n°68): nous avons cultivé 5 pieds de cette origine, et observé une tige de 4 cm environ au 83^{ème} jour de culture et de 9 cm au 94^{ème}.

nombre de jours de culture		longueur totale en centimètres des entre-noeuds de la tige principale							nombre de ramifications visibles de la tige principale				
		83	94	106	122	141	161	208	83	94	122	141	208
n° 1,3	\bar{x}	0	0	0	5	66	115	119	1	2,5	6	11	
	s	0	0	1	4	14	17	20		1,5	0,5	2	
n° 8,10-12,15,17,18,21,28	\bar{x}	1	2	7	28	71	100	107	1	2,5	5,5	9	10
	s	1	2	5	13	24	15	14	1,5	2	2,5	2	2
n° 33,35,37-41,44,45,47,48	\bar{x}	1	2	8	27	59	85	92	1	3	6	9,5	
	s	2	4	8	21	25	25	30	1	1,5	2	2	
n° 49-51,55,56,58,60-65, 68,69,72,75	\bar{x}	1	2	9	38	77	95	103	1	2,5	6	8	8,5
	s	2	3	9	23	29	27	24	1	2	2,5	2,5	2,5
n° 94,99,101,109-112	\bar{x}		0	2	38	88	110	118	0	1	4,5	6	6,5
	s		0	5	23	31	30	17	0,5	1,5	2,5	2,5	1,5
ensemble des observations avec n° 79 et 80	\bar{x}	1	2	6	32	74	98	105	0,5	2,5	5,5	8	9
	s	2	3	8	22	28	27	24	1	2	2,5	2,5	3
nombre total d'observations		101	82	99	103	104	102	100	102	101	104	104	98

Tableau 42: Taille et nombre de rameaux latéraux de la tige principale de fenouils semés le 28/3/1983 dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille et séparés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits.

Écart-type estimé $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$, \bar{x} étant la moyenne et n le nombre de mesures

La tige principale présente des ramifications plus ou moins nombreuses, qui naissent à l'aisselle des feuilles. Les feuilles stériles des ramifications nées à l'aisselle d'une feuille stérile de la tige principale, se trouvent dans un plan plus ou moins perpendiculaire à celui des feuilles stériles de la tige principale. Nous avons calculé le nombre de ramifications de la tige principale des divers groupes, à partir des pieds semés en mars 1983 (tab. 42). Il convient d'écarter les rares pieds ayant souffert de la verse, pour lesquels la tige principale a été remplacée par une ramification. On remarquera que le décompte des petites ramifications cachées entre 2 gaines emboîtées des pieds non montés des fenouils bulbeux n'est pas possible. Le nombre de ramifications ne cesse de croître avec le temps de culture, mais l'augmentation est faible en fin de croissance: on passe d'une moyenne de 8 à seulement 9 ramifications entre le 141^{ème} et le 208^{ème} jour de culture. Ce nombre paraît plus faible pour les fenouils bulbeux, même après la montaison.

Mis à part le pied 94e, aucun fenouil bulbeux n'a survécu à l'hiver 1983-1984. Les fenouils dont l'essence des fruits est riche en estragole ont un peu mieux résisté au froid. Les groupes de lots 49-77 et surtout 1-3 s'avèrent les plus rustiques. Les souches des pieds résistants ont formé 1-7-16 pousses en avril 84. Mais 2 mois plus tard plus de la moitié de ces pieds étaient étiolés. Parmi les fenouils semés en mars 1983, seuls se sont développés correctement en 1984 des pieds appartenant aux lots 1, 3 (planche 1, photo 3), 8, 11, 41, 56, 58, 62-65, 69 et 94. Aucun d'entre-eux n'a supporté l'hiver 1984-1985.

c) Inflorescence

La mise en évidence d'une éventuelle distinction entre les divers groupes de lots à partir de l'observation des sommités fleuries ou fructifiées est difficile: les caractères des ombelles dépendent de toute évidence de la quantité d'eau disponible dans le sol et de leur position dans l'inflorescence; leur formation est échelonnée dans le temps, de manière discontinue, et leur ordre d'apparition s'avère complexe. De plus, la taille des rayons et le nombre de fleurs par ombellule diminuent de la périphérie vers le centre de l'ombelle. L'étude d'un seul pied nécessite donc de nombreuses mesures; en deuxième année de croissance, le nombre d'ombelles par pied est tel qu'une observation ne peut être effectuée régulièrement et

sérieusement par une seule personne. Une solution consiste à différer dans le temps les mesures; nous avons ainsi récolté les ombelles au fur et à mesure de leur maturité. Ceci nous a permis de mesurer, à partir de l'ombelle primordiale de 61 pieds semés en mars 1983, le nombre et les dimensions des rayons ainsi que le nombre de pédicelles par ombellule (tableau 43). Ce dernier est difficile à établir, car les pédicelles sont nombreux, parfois en mauvais état, et, au milieu de l'ombellule, ils peuvent être soudés par 2-3, ou bien mal développés, peu visibles ou caducs, quand les fleurs centrales ne donnent pas de fruits.

L'ombelle primordiale est formée la première et son pédoncule, de taille variable, forme avec la tige principale un angle de $43 \pm 10^\circ$. Le tableau 43 montre que les fenouils bulbeux présentent des rayons plus nombreux et de grande taille comparés aux groupes de lots 1-3 et 33-48. Le caractère peu fourni des ombelles nous permet de rapprocher encore un peu plus le groupe de lots 1-3 de la sous-espèce *piperitum*, en accord avec la littérature.

lots		nombre n d'ombelles primordiales observées	taille des rayons en mm	nombre de rayons	nombre de pédicelles par ombellule
n° 1,3	\bar{x} s	6	36 5	6 2	12 3
n° 33,37-39,44,45,47,48	\bar{x} s	11	34 17	7 3	13 4
n° 51,56,58,60-65,68, 69,72	\bar{x} s	21	41 15	10 3	13 4
n° 94,99,101,109-112	\bar{x} s	17	67 29	14 5	16 4
ensemble des observations avec n°10,11,15,18,77,79,80	\bar{x} s	61	46 24	10 5	13 4

Tableau 43: Taille et nombre des rayons, et nombre de pédicelles par ombellule, pour les ombelles primordiales mûres, récoltées entre le 14/9 et le 5/12/1983, de 61 pieds de fenouils. Une moyenne de la taille des rayons et du nombre de pédicelles par ombellule a été établie intermédiairement pour chaque ombelle. Les échantillons semés dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille le 28/3/1983 ont été séparés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits.

Ecart-type estimé $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, \bar{x} étant la moyenne et n le nombre d'ombelles primordiales observées.

Nous avons vérifié, sur 2 pieds du lot n°3 récoltés le 23/11/84 en fin de 2^{ème} année de croissance, que le nombre de rayons pour la totalité des ombelles est faible:

pied	nombre d'ombelles	nombre de rayons		
		minimum	moynne	maximum
3b	136	3	5	9
3c	105	5	7	11

Le tableau 43 met aussi en évidence un nombre de pédicelles par ombellule plus élevé pour les fenouils bulbeux. Le pied du cultivar "Hâtif de Genève" (n°112) se distingue nettement des autres par son ombelle primordiale de grande taille (planche 1, photo 4), avec un pédoncule de plus de 27 cm, 29 rayons de 148 mm de long, et 25 pédicelles de grande taille par ombellule.

A partir des valeurs trouvées pour les 61 ombelles primordiales, nous avons calculé les coefficients de corrélation linéaire entre le nombre, la taille des rayons et le nombre de pédicelles, et obtenu des valeurs non négligeables:

nombre de rayons	- taille des rayons	$r=0,73$
nombre de pédicelles	- taille des rayons	$r=0,70$
nombre de pédicelles	- nombre de rayons	$r=0,65$

D'autres caractères peuvent être envisagés. Ainsi les rayons et les pédicelles ont une épaisseur variable; il semble que de gros rayons ne s'accompagnent pas forcément de pédicelles épais, et que les rayons du groupe de lots 49-76 soient rarement minces. Les fleurs des fenouils bulbeux nous ont paru de grande taille et d'éventuelles différences de dimension des pétales et du stylopode restent à rechercher. La coloration de l'ovaire est variable; elle est brunâtre pour les fenouils à feuillage brun ornemental et paraît plus ou moins rougeâtre pour la sous-espèce *piperitum*.

5) Observation histologique des feuilles

a) Introduction

Nous avons réalisé une étude histologique rapide du limbe des feuilles, pensant pouvoir mettre en évidence des différences, en particulier dans le nombre de canaux sécréteurs. La structure du limbe d'une feuille stérile et d'une feuille fertile a été observée en 3 endroits (schéma page 154).

pied n°	désignation	feuille stérile					feuille fertile				
		a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	nombre de noeuds	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	nombre de noeuds
3a	Mèze, Hérault	24	32	317	61	8	17	25	47	8	3
15a	roux	55	20	220	187	10	40	3	134	115	5
17b	Roccastrada, Italie	42	13	267	211	7	43	3	154	118	3
48a	Luján de Cuyo, Argentine	42	12	234	161	8	50	1	158	114	3
62b	Ampsin, Belgique	51	34	182	138	12	42	3	136	71	
69c	Institut à Gatersleben, <i>dulce</i>	53	27	243	182	10	54	2	241	195	5
112a	"Hâtif de Genève", Clause	90	43	328	277	11	37	1	66	27	5

Tableau 44: Nombre de noeuds du rachis principal et dimensions des 2 feuilles, stérile (= radicale) et fertile (= caulinaire), utilisées pour l'observation histologique, et obtenues sur 7 pieds de fenouils de diverses origines semés le 28/3/1983 dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille.

a: longueur de la gaine
 b: longueur du pétiole sans la gaine
 c: longueur du rachis principal du limbe
 d: longueur d'un des deux premiers rachis latéraux du limbe

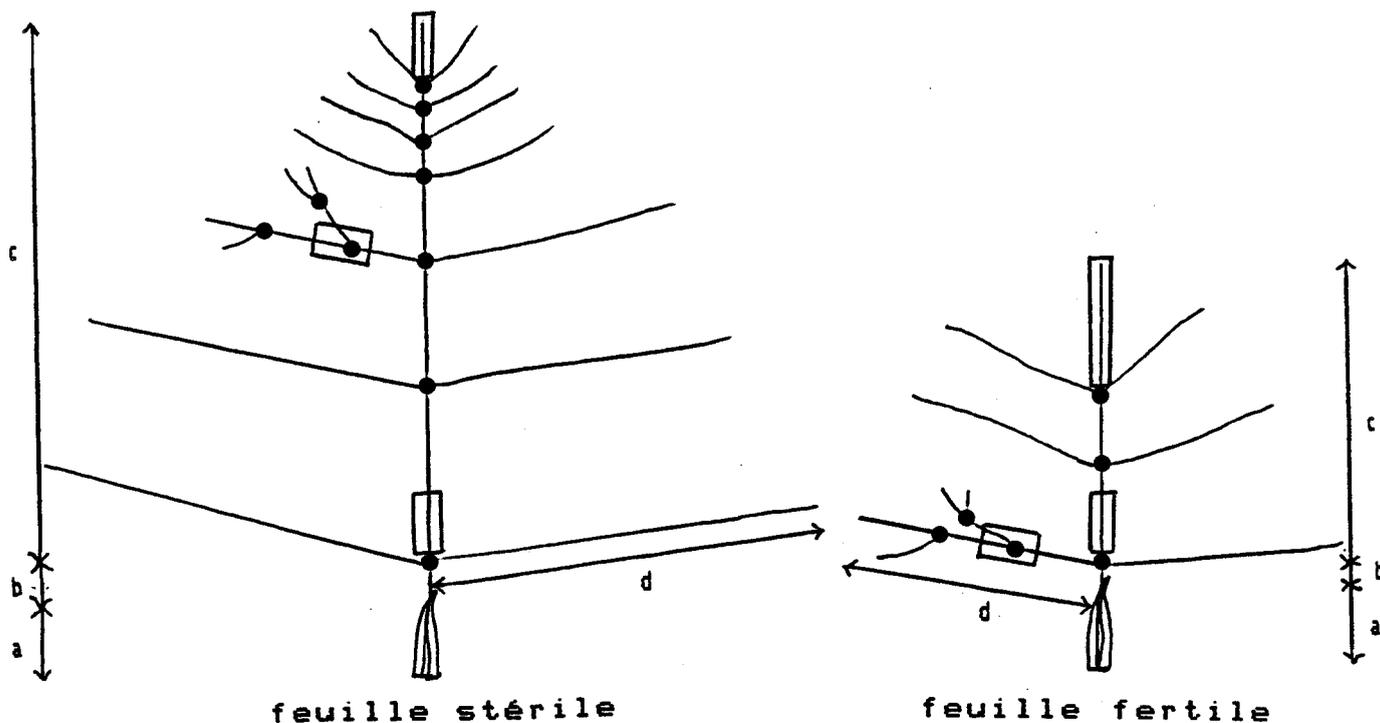


Schéma simplifié d'une feuille stérile et d'une feuille fertile, avec indication des longueurs a, b, c, d (voir ci-dessus), et de l'emplacement des portions prélevées (□) en vue de leur observation histologique.

Celles-ci ont été prélevées sur 7 pieds de diverses origines (tab. 44), correspondant à 5 des groupes établis à partir de l'étude de l'essence des fruits.

Les 7 pieds ont tous été semés en mars 1987. Nous n'avons considéré qu'un seul pied par origine, ne cherchant à mettre en évidence que des différences très marquées. Nous avons jugé prudent d'étudier 2 feuilles de la tige principale, une stérile et une fertile, et de tenir compte de leurs dimensions, reportées dans le tableau 44. MEYER (1937) a montré que le nombre de couches de parenchyme palissadique, de faisceaux de collenchyme, de faisceaux libéro-ligneux et de canaux sécréteurs diminue en allant vers l'extrémité des segments; c'est pourquoi nous avons prélevé des portions du limbe en 3 endroits bien précis, indiqués dans le schéma page 154. Le premier est situé à la base du limbe, juste après le premier noeud du rachis principal. Le second se trouve sur un des côtés du limbe, au premier noeud d'un des rachis latéraux partant, pour la feuille stérile, du 3^{ème} noeud du rachis principal, et, pour la feuille fertile, du 1^{er} noeud. Le troisième correspond à la pointe du rachis principal, après le dernier noeud.

Nous avons réalisé des coupes transversales successives de 40 μ d'épaisseur et effectué un maximum de mesures à l'aide d'un micromètre oculaire. La longueur et la largeur des coupes ont été estimées au grossissement 100, le nombre de cellules et la taille des canaux sécréteurs au grossissement 400. Les canaux sécréteurs étant souvent ovales-aplati, nous avons calculé les valeurs maximales et minimales de leurs diamètres externe et interne. Le diamètre de la lumière interne des canaux sécréteurs est susceptible d'être en rapport avec l'intensité de la sécrétion d'essence.

Lors de l'observation des portions prélevées sur le côté du limbe, qui renferment un noeud, nous avons constaté une division des faisceaux libéro-ligneux et des canaux sécréteurs. La taille et le nombre de cellules des canaux sécréteurs sont plus importants au moment de leur ramification, et nous n'en avons alors pas tenu compte.

Il ressort des valeurs du tableau 44 que les feuilles des différents pieds sont de taille variable, leur longueur (a+b+c) allant de 26 à 46 cm pour les stériles et de 7 à 30 cm pour les fertiles, plus petites. Le pied 3a, qui correspond à notre avis à la sous-espèce *piperitum*, possède des

feuilles étroites: le rapport c/d, entre la taille du rachis principal du limbe et l'un des 2 premiers rachis latéraux, est élevé.

b) Structure générale

Nos coupes transversales sont circulaires ou bien présentent une saillie interne qui correspond à la marge (voir page 17). Elles présentent une disposition semblable à celle décrite par MEYER en 1937 (fig. 3, page 30): le parenchyme palissadique est entrecoupé de faisceaux de collenchyme, en face desquels se trouve un gros canal sécréteur et un faisceau libéro-ligneux.

L'épiderme est recouvert d'une cuticule qui tend à devenir plus fine quand on passe de la base au côté, puis à la pointe du limbe. En face des faisceaux de collenchyme, les cellules épidermiques sont peu allongées; leurs parois épaisses font saillie vers l'extérieur.

Le limbe des feuilles stériles présente à sa base, sauf pour le pied 17b, un hypoderme, constitué d'une couche de cellules dénuées de chloroplastes. Cet hypoderme se rencontre encore par endroits sur le côté du limbe des feuilles stériles des pieds 62b et 112a et est absent du limbe des feuilles fertiles.

On a habituellement 2 assises de parenchyme palissadique à la base du rachis principal, voire 2-3 pour le pied 17b, et 1-2 pour le pied 112a. Ce nombre tend à diminuer en allant vers la pointe du limbe. Nous avons compté le nombre d'interruptions du parenchyme palissadique, dues pour la plupart à des faisceaux de collenchyme (tab. 45). Ce parenchyme tend à former un cercle continu à l'extrémité de la pointe du rachis principal.

A chaque faisceau de collenchyme correspond généralement un faisceau libéro-ligneux d'assez grande taille. D'autres faisceaux libéro-ligneux plus petits peuvent se rencontrer entre 2 gros, ce qui explique que le nombre total de faisceaux libéro-ligneux soit généralement supérieur au nombre d'interruptions du parenchyme palissadique (tab. 45). Là encore, le nombre de faisceaux libéro-ligneux diminue en allant vers la pointe du limbe. Les gros faisceaux peuvent présenter un xylème et un phloème secondaire, observés pour seulement 2 pieds, à la base (62b) ou même sur le côté (15a) du limbe de la feuille stérile. On remarquera que la petite feuille fertile du pied 3a possède un nombre de faisceaux libéro-ligneux non négligeable à la base du rachis principal.

pied n°	nombre de cellules des gros canaux sécréteurs						nombre de gros canaux sécréteurs						nombre de faisceaux libéro-ligneux						nombre d'interruptions du parenchyme palissadique					
	base		côté		pointe		base		côté		pointe		base		côté		pointe		base		côté		pointe	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
3a	10	11	10	10	8	11	17	6	3	2	4	1	26	12	8	3	7	4	18	8	5	3	5	3
15a	9	11	11	12	10	9	12	6	4	3	1	2	13	7	5	5	3	3	9	6	6	4	2	3
17b	9	9	10	8	8		10	5	3	3	3		11	5	5	3	3		10	5	4	1	1	
48a	8	11	9	11	9		10	5	1	2	1		12	5	4	4	4		9	5	1	3	1	
62b	9	10	11	11	9	8	9	5	4	3	2	3	10	6	5	5	3	3	11	5	4	4	1	1
69c	9	9	10	11	8	8	9	6	4	4	1	3	9	7	5	6	3	4	9	6	4	5	1	1
112a	10		9	11	9	10	13		6	3	1	1	17		8	7	3	3	14		7	4	1	1
\bar{x}	9	10	10	10	9	9	12	5	4	3	2	2	14	7	6	5	4	3	12	6	5	4	2	2
s	/	/	/	/	/	/	3	/	/	/	/	/	6	3	2	/	2	/	4	/	2	/	/	/

Tableau 45: Quelques caractères observés sur des coupes de feuilles stériles (S) et fertiles (F) de 8 pieds de fenouils de différentes origines, réalisées à la base et à la pointe du rachis principal du limbe, ainsi qu'au premier noeud d'un rachis latéral. Par "gros" canaux sécréteurs, nous entendons ceux qui sont situés en face du phloème des faisceaux libéro-ligneux; nous avons indiqué leur nombre ainsi que celui de leurs cellules sécrétrices. Le parenchyme palissadique est interrompu par du collenchyme, généralement en relation avec un faisceau libéro-ligneux.

Écart-type estimé $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$, n étant le nombre de valeurs

Nous avons distingué des "gros" et des "petits" canaux sécréteurs:

- Les gros canaux sécréteurs sont situés soit entre un petit faisceau libéro-ligneux et le parenchyme palissadique, soit entre un gros faisceau libéro-ligneux et un faisceau de collenchyme. Dans ce dernier cas, ils sont généralement de diamètre important et souvent entourés de 1-2 cercles de cellules parenchymateuses de taille réduite par rapport aux cellules avoisinantes. Les gros canaux sécréteurs présentent 8-12 cellules sécrétrices en coupe transversale. Ils sont plus nombreux pour les feuilles stériles que les fertiles et leur nombre diminue de la base du limbe à la pointe (tab. 45). La quantité de faisceaux libéro-ligneux est supérieure au nombre de gros canaux sécréteurs.

- Les petits canaux sécréteurs peuvent être liés à un gros faisceau libéro-ligneux et sont alors situés soit latéralement, soit vers le centre de la coupe en face du xylème.

n°	nombre de petits canaux sécréteurs à la base du limbe d'une feuille		nombre de cellules des petits canaux à la base du limbe d'une feuille		diamètre externe (μ) des petits canaux à la base du limbe d'une feuille		diamètre interne (μ) des petits canaux à la base du limbe d'une feuille		L% à la base du rachis principal du limbe d'une feuille	
	stérile	fertile	stérile	fertile	stérile	fertile	stérile	fertile	stérile	fertile
3a	14	1	6	8	65 x 50	40 x 40	20 x 15	20 x 15	10	15
15a	10	1	6	5	65 x 45	50 x 35	35 x 30	30 x 25	10	5
17b	6	2	6	5	55 x 45	45 x 35	25 x 15	15 x 10	15	10
48a	5	1	6	9	65 x 45	65 x 55	25 x 15	30 x 25	10	20
62b	14	1	6	5	60 x 45	50 x 40	15 x 10	10 x 10	5	5
69c	7	1	5	5	55 x 45	50 x 35	15 x 10	10 x 10	5	10
112a	28		7		65 x 55	45 x 35	30 x 20		20	
\bar{x}	12	1	6	6	60 x 45	50 x 40	20 x 15	15 x 15	10	10
s	8	0	0	2	5 5	10 10	5 5	5 5	5	5

Tableau 46: Quelques caractères des petits canaux sécréteurs observés sur des coupes transversales de feuilles stériles et fertiles de 7 pieds de fenouils de différentes origines, réalisées à la base du rachis principal du limbe. Comme les canaux sécréteurs sont plus ou moins ovales, on a indiqué les diamètres maximal et minimal moyens. L% est une approche du pourcentage de surface de la lumière interne par rapport à la surface du canal sécréteur.

$$L\% = 100 \times \left(\frac{(\text{diamètre interne maximal} \times \text{diamètre interne minimal})}{(\text{diamètre externe maximal} \times \text{diamètre externe minimal})} \right) / \text{nombre de canaux sécréteurs observés}$$

$$\text{Ecart-type estimé } s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}, \text{ n étant le nombre de valeurs}$$

Plus rares sont les petits canaux sécréteurs sans relation apparente avec un faisceau libéro-ligneux. On les trouve à la périphérie de la coupe, face au parenchyme palissadique. Nous avons aussi remarqué un petit canal sécréteur central, à la pointe du limbe de la feuille stérile prélevée sur le pied 3a. C'est d'ailleurs le seul petit canal sécréteur que nous ayons observé à la pointe des limbes. Les petits canaux sécréteurs sont surtout présents à la base (tab. 46), en assez grand nombre pour les feuilles stériles (en particulier celle tirée du pied 112a) et seulement à raison de 1-2 pour les fertiles. Nous n'en avons rencontré sur le côté du limbe que pour les pieds 17b (1 pour la feuille stérile) et 112a (2 pour la feuille stérile et 1 pour la fertile). Le nombre de cellules des petits canaux sécréteurs est faible, de 5-8 (tab. 46).

n°	diamètre externe en microns des gros canaux sécréteurs				diamètre interne en microns des gros canaux sécréteurs							
	à la base du rachis principal du limbe d'une feuille stérile		au premier noeud d'un rachis latéral d'une feuille fertile		à la pointe du rachis principal d'une feuille stérile		à la pointe du rachis principal d'une feuille fertile					
3a	80 x 60	55 x 50	80 x 65	55 x 45	65 x 55	55 x 45	40 x 30	25 x 15	35 x 30	30 x 25	35 x 30	25 x 20
15a	95 x 70	90 x 75	95 x 80	100 x 85	60 x 50	60 x 50	50 x 25	45 x 35	55 x 45	55 x 40	30 x 25	25 x 20
17b	90 x 70	70 x 65	70 x 65	50 x 45	50 x 45		45 x 30	40 x 35	40 x 35	25 x 25	25 x 20	
48a	75 x 60	70 x 60	60 x 55	70 x 55	55 x 45		30 x 25	40 x 30	30 x 25	40 x 25	30 x 25	
62b	75 x 65	75 x 65	85 x 65	70 x 60	45 x 35	50 x 45	35 x 25	40 x 30	50 x 35	35 x 30	20 x 15	20 x 20
69c	85 x 75	80 x 65	75 x 65	90 x 70	40 x 35	45 x 40	45 x 25	35 x 25	40 x 25	50 x 30	15 x 10	20 x 15
112a	90 x 70		80 x 75	55 x 50	50 x 45	55 x 50	55 x 30		40 x 35	30 x 30	20 x 20	30 x 25
\bar{x}	85 x 65	75 x 65	75 x 65	70 x 60	50 x 45	50 x 45	45 x 25	40 x 30	40 x 35	40 x 30	25 x 20	25 x 20
s	10 5 10 10		10 10 20 15		10 10 5 5		10 5 5 5		10 5 10 5		5 5 5 5	

Tableau 47: Taille des canaux sécréteurs observés sur des coupes transversales de feuilles stériles et fertiles de 8 pieds de fenouils de différentes origines, réalisées à la base et à la pointe du rachis principal du limbe, ainsi qu'au premier noeud d'un rachis latéral. Seuls les canaux sécréteurs situés entre collenchyme et faisceau libéro-ligneux correspondant ont été considérés. Comme ils sont plus ou moins ovales, on a indiqué les diamètres maximal et minimal moyens.

Ecart-type estimé $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, n étant le nombre de valeurs

c) Taille des canaux sécréteurs

Nous avons porté les dimensions des diamètres interne et externe, minimal et maximal des gros canaux sécréteurs dans le tableau 47 et celles des petits canaux sécréteurs de la base du limbe dans le tableau 46.

Les diamètres externe et interne des gros canaux sécréteurs diminuent de la base vers le côté, puis vers la pointe du limbe (tab. 47). Les plus fortes valeurs sont observées pour les feuilles rousses ornementales du pied 15a, mais la différence n'est pas très marquée. Le pied 17b, qui correspond au même groupe, ne possède pas pour autant des canaux sécréteurs de grande dimension. La taille des gros canaux comme celle des petits ne semble pas être un caractère taxonomiquement intéressant.

pied n°	largeur de la coupe en mm						longueur de la coupe en mm						C%						L% des gros canaux sécréteurs					
	base		côté		pointe		base		côté		pointe		base		côté		pointe		base		côté		pointe	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
3a	3,5	1,1	0,9	0,4	0,6	0,4	3,7	1,1	1,9	0,8	1,0	0,8	1,2		1,3		1,3		20	15	20	25	30	20
15a	2,5	1,4	0,9	1,0	0,3	0,4	3,4	1,7	1,4	1,2	0,5	0,8	1,4	2,0	2,5	2,1	1,9	2,8	20	25	30	25	20	15
17b	2,2	1,2	0,7	0,4	0,4		2,5	1,3	1,2	0,7	0,6		1,7	1,6	2,5	2,6			25	30	30	25	25	
48a	2,6	0,9	0,4	0,6	0,4		2,7	1,0	0,6	0,8	0,6		0,9	3,1	1,5	2,2	1,2		15	25	25	25	25	
62b	2,3	1,0	1,0	0,6	0,3	0,4	3,1	1,2	1,5	0,8	0,6	0,5	1,2	2,6	1,4	2,6	2,1	2,8	20	20	25	25	20	20
69c	2,8	1,5	1,0	1,2	0,3	0,3	3,7	1,9	1,7	1,3	0,4	0,6	0,7	1,1	1,1	1,7	1,2	2,9	15	20	20	20	15	15
112a	8,0		1,5	0,6	0,3	0,3	9,0		2,1	0,8	0,5	0,4	0,2		1,3	2,2	1,4	2,6	30		25	30	20	30
\bar{x}	3,4	1,2	0,9	0,7	0,4	0,4	4,0	1,4	1,5	0,9	0,6	0,6	0,9	2,0	1,6	2,1	1,7	2,5	20	25	25	25	20	20
s	2,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,0	2,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,8	0,5	0,4	0,6	0,7	5	5	5	5	5	5

Tableau 48: Les coupes ont été réalisées sur des feuilles stériles (S) et fertiles (F) de 7 pieds de fenouils de différentes origines, à la base et à la pointe du rachis principal du limbe, ainsi qu'au premier noeud d'un rachis latéral. C% est une approche du pourcentage de surface de la coupe transversale occupée par les canaux sécréteurs, L% est une approche du pourcentage de surface des canaux sécréteurs occupée par leur lumière interne.

$$C\% = 100 \times \left(\frac{\sum (\text{diamètre extérieur maximal} \times \text{diamètre extérieur minimal})}{\text{largeur} \times \text{longueur de chaque coupe transversale}} \right) / \text{nombre de coupes observées}$$

$$L\% = 100 \times \left(\frac{\sum (\text{diamètre interne maximal} \times \text{diamètre interne minimal})}{(\text{diamètre externe maximal} \times \text{diamètre externe minimal})} \right) / \text{nombre de canaux sécréteurs observés}$$

$$\text{Ecart-type estimé } s = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}, n \text{ étant le nombre de valeurs}$$

Connaissant les diamètres des canaux sécréteurs, il est possible d'avoir une idée de l'importance de leur lumière interne. Par le calcul de L% (tab. 46 et 48), nous avons tenté une approche du pourcentage de surface de la lumière interne par rapport à la surface du canal sécréteur, limitée par les parois externes des cellules sécrétrices. Il est intéressant de rechercher d'éventuelles différences de L% entre les pieds, car une lumière plus ou moins importante pourrait être le signe d'une plus ou moins forte activité sécrétrice.

La lumière des petits canaux sécréteurs est plus faible que celle des gros: L% varie de 5 à 20 % pour les premiers et de 15 à 30 % pour les seconds. On observe peu de différence du pourcentage L% entre les feuilles stériles et fertiles. On n'en observe pas non plus (tab. 48) pour les gros

canaux sécréteurs, que ce soit entre les 3 zones du limbe que nous avons étudiées, ou entre les différents pieds.

Nous avons aussi essayé d'approcher, par le calcul de C% (tab. 48), le pourcentage de surface occupée par les canaux sécréteurs par rapport à la surface de la coupe. Nous reconnaissons que le produit de la longueur maximale de la coupe transversale par sa largeur minimale donne une surface très imprécise.

Il n'est pas surprenant de constater que le pied de fenouil bulbeux (n°112a) possède un rachis principal particulièrement épais à sa base pour la feuille stérile (tab. 48).

La valeur de C% est faible à la base du limbe des feuilles stériles, et n'est même que de 0.2 % pour le pied 112a. Le renflement du rachis principal ne semble donc pas s'accompagner d'une augmentation de la surface occupée par les canaux sécréteurs.

d) Conclusion

Cette courte étude montre que l'histologie du limbe des feuilles n'a guère d'intérêt taxonomique. Le lot n°3, qui correspondrait à la sous-espèce *piperitum* et qui possède une essence des fruits et un aspect *in vivo* très particuliers, ne peut être nettement distingué des autres par les caractères histologiques du limbe foliaire. Le pied de fenouil bulbeux se remarque aisément par une faible valeur de C% et une section importante du rachis principal à la base de la feuille stérile.

III VARIABILITE OBSERVEE SUR UNE AIRE GEOGRAPHIQUE LIMITEE

1) Fenouils sauvages de la région de Béziers

Nous avons décidé d'analyser de manière plus précise les fenouils d'une même région afin de mettre éventuellement en évidence une variabilité entre fenouils distants de quelques kilomètres ou entre différents pieds poussant au même endroit. La région de Béziers, dans l'Hérault, où le fenouil est très commun dans les terrains vagues, les vignes et le long des chemins a été choisie. Nous avons récolté plusieurs lots de fruits entre Béziers et Vias, villes distantes de 13 km (tab 50, fig. 13).

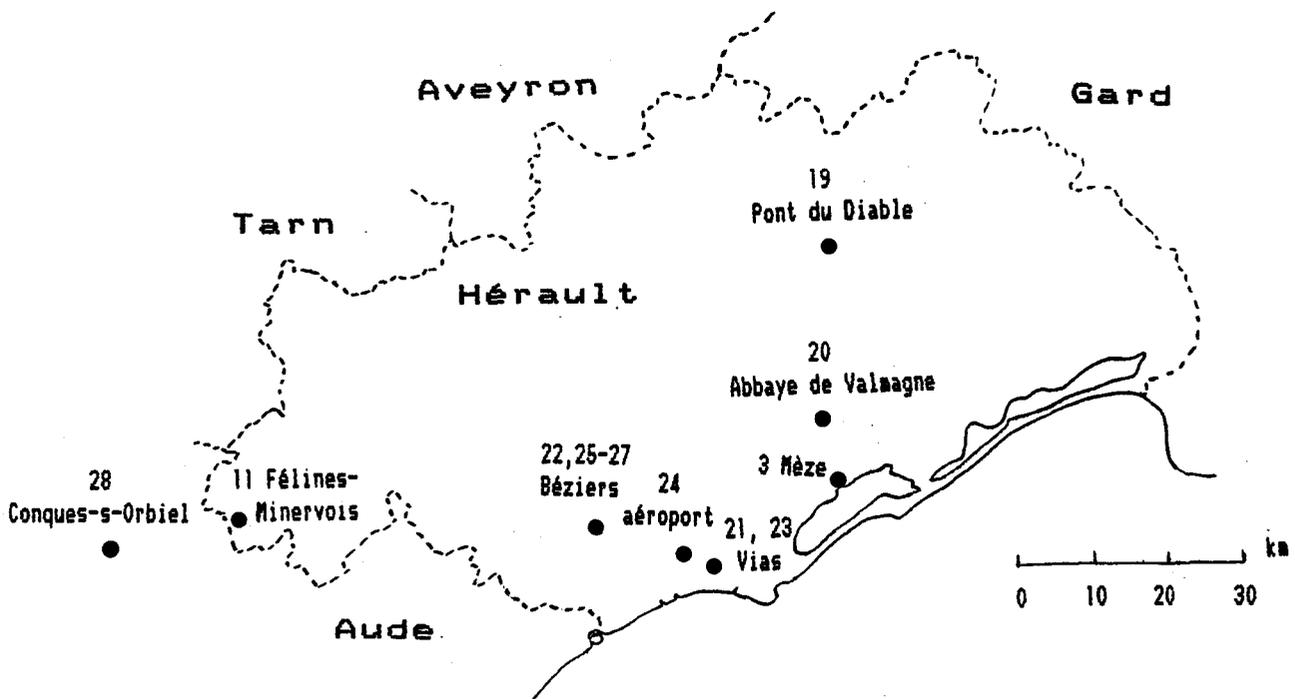


Figure 13: Répartition géographique de quelques lots récoltés dans la région de Béziers et à proximité.

Les échantillons provenant de l'Hérault et déjà décrits se divisent en 2 groupes: le lot n°3, correspondant à la sous-espèce *piperitum*, a été récolté près de Mèze, situé le long du bassin de Thau, à une trentaine de kilomètres de Béziers. Les lots 11, 19, 20 et 21 possèdent tous une essence des fruits très riche en estragole. La figure 13 indique les emplacements des villes correspondant à ces échantillons. Le fenouil de Félines-Minervoises (n°11) se distingue par ses 20.6 % de trans-anéthole et il est intéressant de constater (tab.18, page 107) l'absence de ce composé pour l'échantillon n°28 de Conques-sur Orbiel, ville pourtant très proche de Félines-Minervoises.

Au lieu-dit Pont du Diable, dans les gorges de l'Hérault, à côté de S^t Jean-de-Fos, la population de fenouils était isolée, alors qu'entre Béziers et Vias, ou dans les vignes près de l'Abbaye de Valmagne, cette plante est présente partout.

Les lots 21-27, de la région de Béziers, appartiennent à la sous-espèce *vulgare*. Ils sont vivaces et présentent (2)4-6-8(15) rayons par ombelle, avec des différences possibles d'une souche à l'autre. Ainsi, à la sortie Est de Béziers, nous avons compté $\bar{5} \pm 1$ rayons par ombelle pour le pied B, et $\bar{8} \pm 2$ pour le pied C.

Le profil de l'essence des lots 21-27 est indiqué dans le tableau 49. On constate une relative homogénéité, avec 2 constituants principaux, l'estragole et la fenchone. Ce dernier composé n'est majoritaire que pour le lot 23 où il atteint 45.1 %. Le p-cymène ne dépasse pas 0.1 % et l'anisaldéhyde et l'anicétone n'ont pas été détectés. Le pourcentage de trans-anéthole est inférieur à 1 %, mis à part les 3.3 % du lot n°21. Le lot n°24 se remarque par ses 9.9 % d' α -pinène. Le profil entre les pieds A, B et C est voisin; on notera un plus faible pourcentage d' α -pinène pour le pied A (1.1 % contre 5.9 et 5.1 %). Les pourcentages de camphène, fenchone et de composé sortant à 128°C sont en étroite corrélation ($r > 0.95$), de même que ceux d' α - et de β -pinène ($r = 0.97$).

La teneur en essence (tab. 50) est assez élevée: elle dépasse 5 g par 100 g de matière sèche sauf pour le lot 21. Le pied A se distingue des pieds B et C par une teneur plus faible, quel que soit son mode d'expression. Les pourcentages de terpènes, d'eau et de lipides extraits ne varient pas de manière importante, ce que traduisent des coefficients de variation inférieurs à 0.20.

n°	origine	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	pic à 100°C	fenchone	pic à 121°C	pic à 128°C	linalol	estragole	trans-anéthole
21	Vias	2,4	0,4	0,1	0,4	2,5	6,0	1,2	0,1	0,2	22,7	0,1	0,5	0,2	59,8	3,3
22	Est de Béziers	2,3	0,5	0,1	0,5	2,3	6,2	0,4	0,0	0,2	29,1	0,2	0,5	0,1	57,5	0,3
23	sortie de Vias	2,9	0,7	0,1	0,4	3,8	7,4	0,7	0,0	0,3	45,1	0,2	0,9	0,2	36,5	0,7
24	aéroport de Béziers sortie Est de Béziers:	9,9	0,3	0,5	0,6	2,4	5,4	0,4	0,0	0,1	22,3	0,2	0,4	0,5	56,8	0,1
25	pied A	1,1	0,5	0,0	0,4	3,2	9,4	1,4	0,1	0,2	35,1	0,1	0,6	0,1	47,7	0,1
26	pied B	5,9	0,4	0,4	0,4	2,0	6,6	0,8	0,0	0,1	26,7	0,1	0,5	0,1	55,9	0,1
27	pied C	5,1	0,4	0,3	0,4	4,2	5,8	0,6	0,1	0,2	25,1	0,1	0,5	0,1	57,0	0,2
moyenne \bar{x} des lots 21 à 27		4,2	0,5	0,2	0,4	2,9	6,7	0,8	0,0	0,2	29,4	0,1	0,6	0,2	53,0	0,7

Tableau 49: Profil qualitatif de l'essence des akènes de fenouils sauvages récoltés en 1983 et 1984 dans la région de Béziers (Hérault).

n°	origine	nombre de pieds de fenouils récoltés	mois de récolte analyse	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α -pinène / limonène + β -phell.
				mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
21	Vias	plusieurs	10/82 6/84	105	4,8	3,7	19	36,9	0,4
22	Est de Béziers	plusieurs	4/83 3/84	105	5,8	4,2	23	42,2	0,4
23	sortie de Vias	plusieurs	2/84 5/84	100	6,1	4,1	29	62,8	0,4
24	aéroport de Vias sortie Est de Béziers:	2	2/84 5/84	140	6,5	4,9	20	43,1	1,8
25	pied A	1	2/84 5/84	75	5,3	3,6	29	52,2	0,1
26	pied B	1	2/84 5/84	115	7,0	4,8	26	44,0	0,9
27	pied C	1	2/84 5/84	120	6,3	4,5	25	42,8	0,9
moyenne \bar{x} des lots 21 à 27				110	6,0	4,3	24	46,3	0,7

Tableau 50: Caractéristiques de l'essence des akènes de fenouils sauvages récoltés en bord de route près de Béziers dans l'Hérault.
MF, MS: matière fraîche, matière sèche

n°	origine	% de fruits bruns	% d'akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes bruns	nombre d'akènes par gramme	akènes bruns, en centièmes de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
21	Vias	78	76	8	2,7	370	407	14	0,12	153	5	0,11	99	5	0,20
22	Est de Béziers	100	87	10	2,25	440	367	12	0,13	155	5	0,12	92	4	0,14
23	sortie de Vias	100	85	10	2,35	420	377	13	0,13	159	7	0,17	91	4	0,16
24	aéroport de Vias sortie Est de Béziers;	100	73	14	2,55	390	451	11	0,10	158	4	0,10	77	3	0,16
25	pied A	100	74	17	1,75	580	307	11	0,13	103	4	0,15	49	3	0,23
26	pied B	100	68	5	2,45	410	345	10	0,11	172	5	0,10	101	3	0,10
27	pied C	100	97	2	2,4	420	374	9	0,09	176	5	0,12	99	3	0,10
moyenne \bar{x} des lots 21 à 27		97	80	9	2,35	430	375			154			87		

Tableau 51: Caractéristiques des fruits de fenouils sauvages récoltés dans la région de Béziers (Hérault, France).
 Intervalle de Confiance à 5 % IC= $1,96 \times s/\sqrt{n}$, n étant le nombre de mesures
 Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} , avec $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$

Le rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne apparaît constant (0.4) dans les lots 21-23, pour lesquels plusieurs pieds ont été récoltés. Il est, par contre, très variable pour les lots 24-27, et va de 0.1 pour le pied A, à 1.8 pour les 2 pieds du lot n°24.

Les caractéristiques des semences des lots 21-27 sont reportées dans le tableau 51. Les fruits sont, dans l'ensemble, mûrs, séparés, peu courbés, légers et d'assez faible taille. Le pied A se distingue des pieds B et C par un pourcentage plus élevé de fruits courbes et par des akènes peu lourds et de faibles dimensions, l'épaisseur n'étant que de 0.5 mm.

2) Fenouil de Luján de Cuyo

a) Introduction

Dans le chapitre II (page 113), nous avons signalé pour le groupe de lots 33-48 que le profil de l'essence d'un même échantillon de fruits pouvait être variable, et nous avons donné comme exemple les différents pourcentages de phénylpropènes obtenus pour 3 extractions du lot n°41. Nous avons estimé l'importance de cette variabilité en analysant l'essence des fruits d'un même lot, akène par akène.

Un premier essai a porté sur quelques akènes du lot n°41. D'emblée nous avons constaté une variation considérable des pourcentages des phénylpropènes: 1.3 % d'estragole et 43.8 % de trans-anéthole pour un premier akène, 47.5 % d'estragole et seulement 8.5 % de trans-anéthole pour un second.

Nous avons alors décidé d'analyser un plus grand nombre d'akènes. Nous n'avons pas repris le lot n°41 car il est préférable d'étudier un échantillon de provenance connue, sauvage ou exploité à grande échelle. Pour les fenouils cultivés dans les jardins botaniques une possible hybridation avec d'autres origines est, en effet, à craindre. Nous avons considéré le lot n° 48, récolté en 1983 en Argentine dans la province de Mendoza, plus précisément dans le département de Luján de Cuyo, où le climat est sec avec des précipitations annuelles d'environ 180 mm. Signalons que nous avons observé pour 4 pieds de ce lot des différences de coloration du feuillage, de découpage des segments, de taille de la tige principale.

b) Essence akène par akène

Nous avons indiqué, dans le tableau 52, le profil de l'essence de 33 akènes du lot n°48. On constate une forte variabilité des pourcentages de phénylpropènes: l'estragole varie de 3.1 à 73.4 %, le trans-anéthole de 8.2 à 84.7 %; les pourcentages de ces composés sont voisins pour les akènes 23 et 24. L'ansaldéhyde et l'ansacétone sont observés pour les akènes 13, 19, 24, 25, 30 et 32; leurs teneurs sont élevées pour les akènes 24 et 25, qui possèdent aussi les pourcentages les plus faibles de myrcène + α -phellandrène et les plus élevés de p-cymène.

Les composés terpéniques sont aussi très variables, comme on peut en juger par les coefficients de variation, tous largement supérieurs à 0.20. Ainsi l' α -pinène passe de 0.3 (n°21) à 5.4 %, et la fenchone de 5.2 (n°24) à 22.1 % (n°1).

Les pourcentages les plus élevés du composé sortant à 128°C, qui varie dans un rapport de 1 à 15, correspondent aux akènes 22-25, riches en α -pinène et en camphène. On remarquera aussi que les akènes 1, 2, 6 et 8 présentent au moins 2.5 % d' α -pinène, 0.3 % de camphène, 0.3 % du composé sortant à 128°C et sont, de plus, relativement riches en β -pinène,

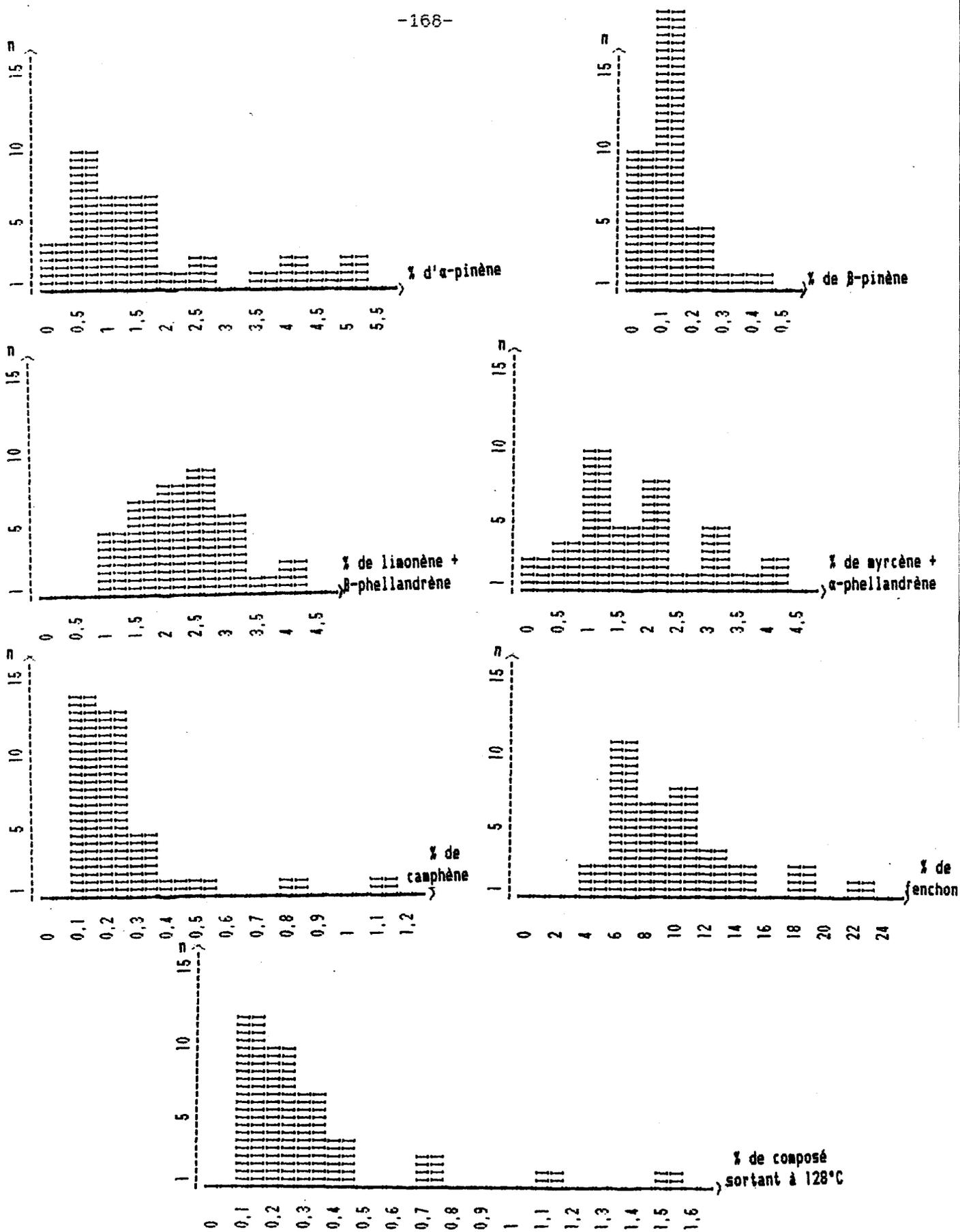


Figure 14: Histogrammes de fréquence des pourcentages de divers terpènes de l'essence de 33 akènes du fenouil de Luján de Cuyo (lot n°48).
 n: nombre d'akènes

n°	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
1	5,2	0,3	0,4	0,0	4,1	2,1	0,2	0,0	22,1	0,4	55,6	8,2	0,0	0,0
2	2,8	0,3	0,2	0,4	3,4	2,2	0,2	0,0	15,4	0,3	65,1	9,3	0,0	0,0
3	2,0	0,2	0,1	0,4	1,6	3,5	0,1	0,0	10,1	0,2	72,3	9,3	0,0	0,0
4	1,6	0,2	0,1	0,3	3,0	1,8	0,4	0,0	14,5	0,3	67,8	9,8	0,0	0,0
5	1,5	0,2	0,1	0,2	2,8	1,5	0,4	0,0	11,8	0,2	70,5	10,3	0,0	0,0
6	4,3	0,3	0,3	0,0	4,0	1,9	0,3	0,1	19,9	0,4	56,4	10,8	0,0	0,0
7	1,8	0,1	0,1	0,3	1,3	3,1	0,1	0,0	7,9	0,2	73,4	11,6	0,0	0,0
8	2,5	0,3	0,2	0,4	3,6	2,5	0,2	0,0	18,3	0,4	58,6	12,4	0,0	0,0
9	0,7	0,1	0,1	0,3	0,9	1,1	0,0	0,0	7,0	0,1	65,6	24,1	0,0	0,0
10	1,4	0,2	0,1	0,2	2,1	2,5	0,3	0,0	12,5	0,3	55,3	25,1	0,0	0,0
11	1,4	0,2	0,0	0,1	1,9	2,5	0,4	0,0	11,3	0,2	55,5	26,2	0,0	0,0
12	0,4	0,1	0,0	0,2	2,0	3,2	0,2	0,1	7,2	0,1	59,5	26,9	0,0	0,0
13	0,7	0,1	0,1	0,3	1,2	1,0	0,1	0,1	6,8	0,1	61,7	27,6	0,1	0,1
14	0,4	0,1	0,0	0,2	1,2	3,1	0,2	0,0	8,1	0,1	58,1	28,2	0,0	0,0
15	1,6	0,2	0,1	0,2	2,2	2,8	0,3	0,0	12,7	0,3	50,6	28,7	0,0	0,0
16	1,4	0,2	0,1	0,2	2,0	2,3	0,4	0,0	10,6	0,2	53,2	29,2	0,0	0,0
17	1,5	0,2	0,1	0,2	2,1	2,6	0,5	0,0	11,9	0,3	51,0	29,7	0,0	0,0
18	1,5	0,2	0,1	0,2	2,4	3,0	0,5	0,0	12,8	0,3	48,5	30,4	0,0	0,0
19	1,3	0,2	0,1	0,2	2,1	2,6	0,4	0,0	10,7	0,2	50,5	31,2	0,1	0,1
20	1,2	0,2	0,1	0,2	1,9	2,5	0,4	0,1	10,2	0,2	50,5	32,5	0,0	0,0
21	0,3	0,1	0,0	0,2	1,9	4,2	0,3	0,1	5,6	0,1	53,2	33,6	0,0	0,0
22	4,0	0,8	0,1	0,4	3,0	1,7	0,1	0,0	8,8	1,1	43,0	36,7	0,0	0,0
23	5,4	1,1	0,1	0,3	3,4	1,8	0,1	0,0	8,8	1,5	39,2	38,0	0,0	0,0
24	3,9	0,4	0,2	0,3	0,1	2,0	0,0	0,4	5,2	0,7	39,2	38,5	2,8	5,7
25	4,6	0,5	0,2	0,3	0,4	2,3	0,0	0,5	6,0	0,7	31,3	45,8	2,1	4,8
26	0,5	0,1	0,0	0,3	1,0	4,1	0,1	0,0	6,9	0,1	36,6	49,7	0,3	0,2
27	0,8	0,1	0,1	0,4	1,3	2,7	0,0	0,0	8,1	0,1	28,4	57,9	0,0	0,0
28	0,5	0,1	0,0	0,0	0,9	1,7	0,2	0,0	6,7	0,1	25,9	63,8	0,0	0,0
29	0,8	0,1	0,0	0,3	1,2	2,3	0,0	0,0	7,7	0,1	21,8	65,5	0,0	0,0
30	0,8	0,1	0,1	0,3	1,0	3,0	0,0	0,0	6,9	0,1	20,4	66,9	0,2	0,2
31	0,7	0,1	0,0	0,3	0,9	2,0	0,0	0,0	6,0	0,1	20,0	69,8	0,0	0,0
32	1,2	0,1	0,1	0,2	1,4	1,2	0,1	0,0	8,7	0,2	3,3	83,2	0,1	0,1
33	0,7	0,2	0,0	0,1	1,2	1,0	0,1	0,0	8,7	0,2	3,1	84,7	0,0	0,0
\bar{x}	1,8	0,2	0,1	0,2	1,9	2,4	0,2	0,0	10,2	0,3	46,8	35,0	0,2	0,3
CV	0,81	0,91	0,90	0,47	0,53	0,34	0,80	2,64	0,41	1,01	0,40	0,62	3,46	3,75

Tableau 52: Pourcentages des principaux constituants de l'essence de 33 akènes de fenouil récoltés à Luján de Cuyo en Argentine en 1983 et analysés en décembre 1985. Les profils ont été classés dans l'ordre croissant du pourcentage de trans-anéthole.

Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} , avec écart-type estimé $s=\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2/32}$

myrcène + α -phellandrène et fenchone. L' α -pinène, le camphène et le composé sortant à 128°C ne semblent cependant pas en relation avec la fenchone, alors qu'ils le sont probablement avec le myrcène + α -phellandrène. En effet, les akènes 22 et 23 renferment trop peu de fenchone, mais sont riches en myrcène + α -phellandrène, et on peut penser que les faibles taux de myrcène + α -phellandrène observés pour les akènes 24 et 25 sont dus à une oxydation, vu la présence importante de p-cymène, d'anisaldéhyde et d'anisacétone.

Les histogrammes de fréquence des pourcentages des divers constituants de l'essence (fig. 14 et 15) permettent d'envisager une répartition uni ou plurimodale; le test du χ^2 a été utilisé pour écarter ou non l'hypothèse, au seuil de 5 %, d'un échantillon tiré d'une population suivant la loi normale. Cette hypothèse est acceptable pour le limonène + β -phellandrène, moins nettement pour le sabinène et la fenchone, et doit être rejetée pour l' α -pinène, le camphène et le composé sortant à 128°C. Elle ne peut être écartée pour l'estragole et le trans-anéthole.

Le rapport α -pinène / limonène + α -phellandrène est très variable: il va de 0.11 pour l'akène n°12 à 2.99 pour le n°23 (tab. 53); on trouve des valeurs inférieures à 0.4, que ce soit l'estragole qui domine (n°12, 14) ou bien le trans-anéthole (n°26-31). Ce rapport est élevé pour les akènes 1, 2, 6, 8, 22-25, riches en α -pinène, en camphène, et en composé sortant à 128°C. Le pourcentage de terpènes va de 10.1 à 36.2 % .

La richesse en essence varie de 34 à 241 μ g par akène ou de 14 à 78 μ g par mg de matière fraîche. La teneur moyenne n'est que de 101 μ g par akène, alors que d'après la teneur du lot n°48 (tab. 22, page 114), on pourrait s'attendre à une valeur proche de 160 μ g; de même, on n'a que 34 μ g d'essence par mg de matière fraîche au lieu de 44. Ces différences tiennent à une moins bonne extraction, une partie de l'essence étant probablement retenue dans le broyat. Nous avons déjà observé une telle baisse de teneur lors d'une analyse identique, akène par akène, d'un aneth des Balkans (BADOC, 1986b).

Les akènes les plus lourds (n°3, 16, 32) sont riches en essence et les plus légers (n°5, 13, 14, 21) ont une teneur inférieure à la moyenne de

n°	poids de l'akène en mg	µg d'essence par akène	µg d'essence par mg de matière fraîche	% de composés sortant avant l'estragole, ou % de terpènes	rapport α-pinène / limonène + β-phellandrène
1	3,61	52	14	36,2	2,49
2	2,42	56	23	25,6	1,26
3	4,87	127	26	18,4	0,58
4	2,79	87	31	22,4	0,93
5	1,88	84	45	19,0	1,04
6	2,70	60	22	32,8	2,29
7	3,32	142	43	15,0	0,58
8	3,08	97	31	29,0	1,00
9	3,75	167	44	10,3	0,61
10	3,55	101	29	19,6	0,56
11	3,16	58	18	18,3	0,59
12	2,60	46	18	13,5	0,11
13	1,82	34	18	10,4	0,66
14	1,58	99	63	13,7	0,12
15	2,73	151	55	20,6	0,57
16	4,28	126	29	17,6	0,60
17	3,63	125	34	19,3	0,57
18	2,91	58	20	21,1	0,51
19	1,42	56	39	18,0	0,48
20	2,20	149	68	16,9	0,48
21	1,67	41	24	12,9	0,07
22	2,68	94	35	20,2	2,28
23	2,94	50	17	22,6	2,99
24	3,50	138	39	13,3	1,92
25	3,75	113	30	15,6	1,96
26	3,53	116	33	13,2	0,13
27	2,70	105	39	13,7	0,31
28	3,16	107	34	10,3	0,27
29	3,77	135	36	12,6	0,33
30	2,94	92	31	12,3	0,27
31	3,67	55	15	10,1	0,36
32	4,69	241	51	13,3	1,00
33	2,04	159	78	12,2	0,67
\bar{x}	3,01	101	34	17,6	0,87
CV	0,28	0,46	0,45	0,36	0,88

Tableau 53: Caractéristiques de l'essence de 33 akènes de fenouil (n° 48) récoltés à Luján de Cuyo en Argentine en 1983, analysés en décembre 1985, et classés dans l'ordre croissant du pourcentage de trans-anéthole.

Coefficient de Variation CV= s/ \bar{x} , avec $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / 32}$

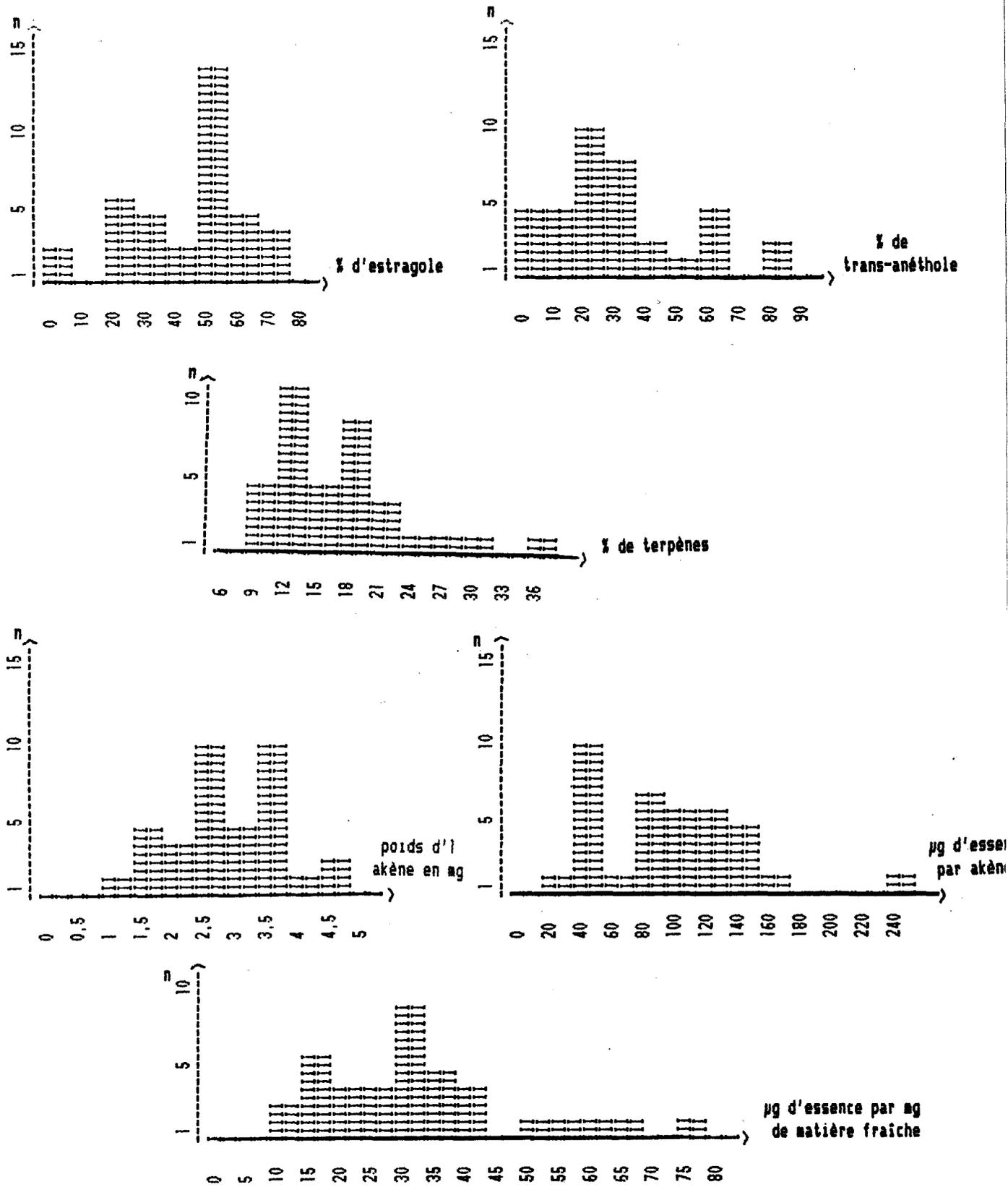


Figure 15: Répartition du poids de 33 akènes du fenouil de Luján de Cuyo (lot n°48), de leur quantité d'essence en µg, par akène ou par mg de matière fraîche, ainsi que de leurs pourcentages d'estragole, de trans-anéthole et de terpènes, n: nombre d'akènes

101 µg. Le poids élevé de l'akène n°3 fait que sa teneur en essence n'est que de 26 µg par mg de matière fraîche; inversement, le faible poids de l'akène n°19, pauvre en essence, explique les 39 µg par mg de matière fraîche.

Le test du χ^2 ne permet pas de rejeter l'hypothèse d'un échantillon tiré d'une population suivant la loi normale pour la teneur en essence et le pourcentage de terpènes, dont les histogrammes sont donnés dans la figure 15. La répartition du rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène n'est pas gaussienne.

c) Caractères des akènes du lot n°48

Nous avons déjà donné les caractéristiques des fruits du fenouil de Luján de Cuyo dans le tableau 34 (page 135). Ils sont peu mûrs, moyennement dissociés, souvent courbes et on a 350 akènes par gramme. Nous avons mesuré les dimensions d'une soixantaine de méricarpes et trouvé les valeurs moyennes et limites suivantes:

longueur : 3,4 - $\overline{5,0}$ - 6,6 mm

largeur : 1,0 - $\overline{1,5}$ - 2,2 mm

épaisseur : 0,6 - $\overline{0,9}$ - 1,1 mm

Nous avons appliqué le test du χ^2 pour vérifier l'ajustement, au seuil de 5 %, de la distribution de cet échantillon à une loi normale. Cette hypothèse ne peut être rejetée pour la longueur des akènes, est acceptable pour leur largeur, mais doit être écartée pour leur épaisseur, dont la répartition paraît bimodale (fig. 16).

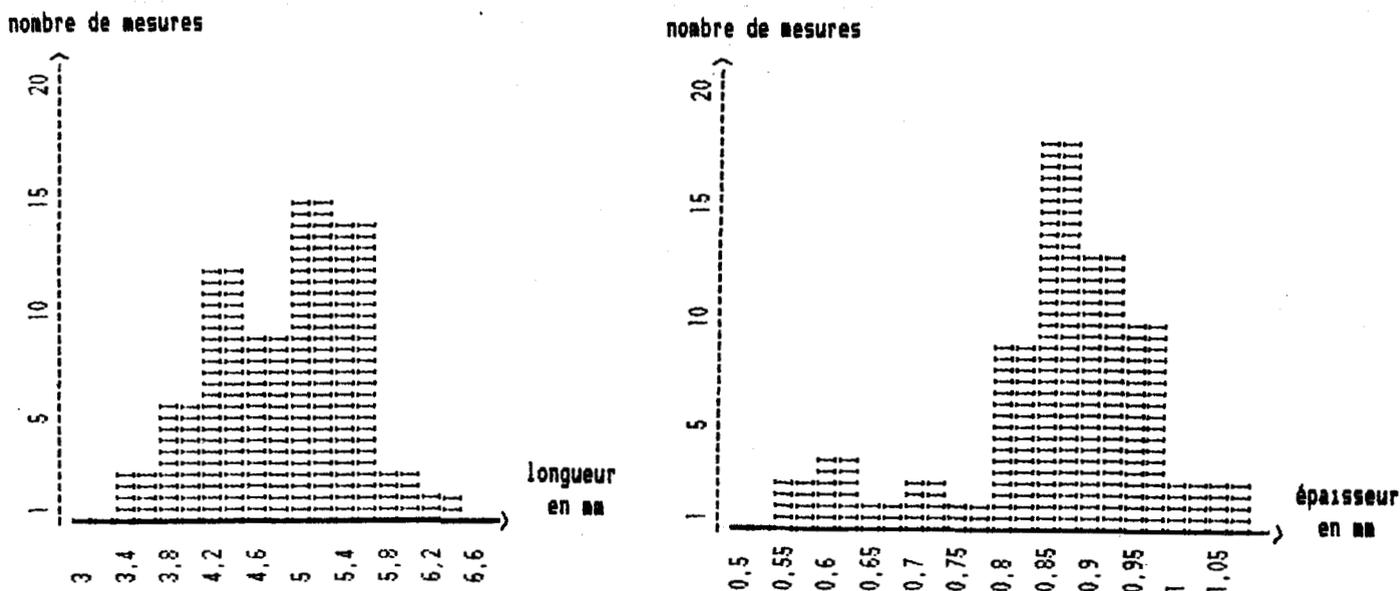


Figure 16: Histogrammes de la longueur et de l'épaisseur de respectivement 56 et 59 akènes du lot n°48 provenant de Luján de Cuyo en Argentine.

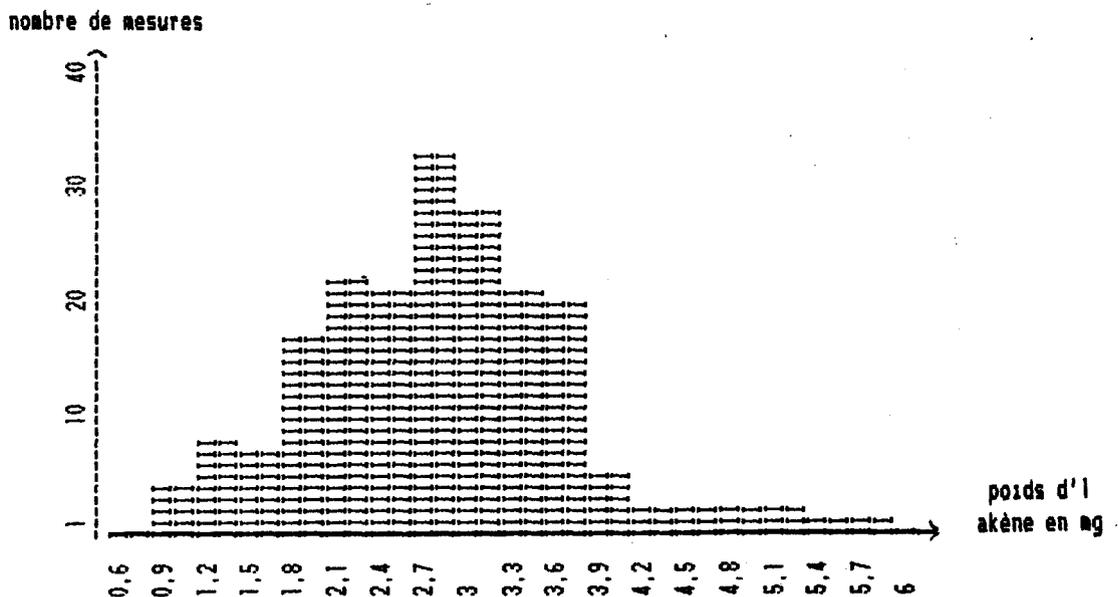


Figure 17. Histogramme des poids de 196 akènes du lot n°48 provenant de Luján de Cuyo en Argentine.

Le tableau 52 donne le poids des 33 akènes dont nous avons analysé l'essence. Il varie de 1.42 à 4.87 g, et le test du χ^2 ne permet pas de rejeter l'hypothèse d'un échantillon tiré d'une population suivant la loi normale. Nous avons jugé utile d'étudier la distribution des poids d'un plus grand nombre d'akènes (fig. 17). Pour 200 pesées, on trouve des valeurs allant de 1.01 à 5.76 mg avec une moyenne de 2.85 ± 0.85 mg. Les valeurs, divisées en 13 classes, donnent un χ^2 égal à 9. L'hypothèse d'une population suivant la loi normale ne peut être rejetée au seuil de 5 % .

d) Analyse des coefficients de corrélation

Pour 30 échantillons, les coefficients de corrélation sont significatifs avec un risque d'erreur de 1 et 5 % à partir de 0.45 et 0.35 respectivement.

La teneur en essence des akènes augmente avec leur poids ($r=0.48$). La corrélation est plus élevée (0.70) entre les teneurs en essence, exprimées en μg par akène et en μg par mg de matière fraîche.

Nous avons reporté dans le tableau 54 les coefficients de corrélation linéaire entre les pourcentages des principaux constituants de l'essence des 33 akènes.

	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandrène	limonène + β -phellandrène	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde
anisacétone?	0,41	0,25	0,28	0,14	-0,44	-0,06	-0,33	<i>0,92</i>	-0,30	0,33	-0,17	0,09	<i>>0,99</i>
anisaldéhyde	0,39	0,23	0,27	0,15	<i>-0,45</i>	-0,05	-0,34	<i>0,91</i>	-0,31	0,31	-0,18	0,11	
trans-anéthole	-0,33	-0,12	<i>-0,47</i>	-0,04	<i>-0,59</i>	-0,18	<i>-0,47</i>	0,03	<i>-0,58</i>	-0,11	<i>-0,96</i>		
estragole	0,11	-0,02	0,26	0,10	0,42	0,22	0,44	-0,09	0,39	-0,04			
pic à 128 °C	<i>0,82</i>	<i>0,99</i>	0,34	0,19	0,35	-0,23	-0,12	0,27	0,09				
fenchone	0,44	0,11	<i>0,69</i>	-0,30	<i>0,85</i>	-0,09	<i>0,48</i>	-0,28					
p-cymène	0,39	0,22	0,28	0,06	-0,37	-0,02	-0,26						
γ -terpinène	-0,10	-0,10	0,02	<i>-0,44</i>	<i>0,48</i>	0,16							
limonène+ β -phell.	-0,22	-0,23	-0,22	0,15	-0,07								
myrcène+ α -phell.	<i>0,50</i>	0,40	<i>0,53</i>	-0,16									
sabinène?	0,00	0,19	-0,09										
β -pinène	<i>0,76</i>	0,31											
camphène	<i>0,80</i>												

Tableau 54. Coefficients de corrélation linéaire entre les pourcentages des principaux constituants de l'essence de 33 akènes récoltés à Luján de Cuyo en Argentine (n°48) en 1983. Les coefficients dont la valeur absolue est supérieure à 0,45 sont donnés en italiques et sont significatifs avec un risque d'erreur de 1 %.

On constate des coefficients élevés entre l'anisaldéhyde et l'anisacétone ($r=0.996$) et entre ces 2 composés et le p-cymène ($r>0.91$). L' α - et le β -pinène sont également liés ($r=0.76$). L' α -pinène, le camphène et le composé sortant à 128°C semblent en relation ($r>0.80$); contrairement à ce qui a été observé précédemment (tableau 31), la fenchone ne corrèle plus avec le camphène ($r=0.11$) ni avec le composé sortant à 128°C ($r=0.09$); notons cependant que ces 2 coefficients passent à 0.92 et 0.94 si on ne considère plus les akènes 22-25. Malgré un pourcentage de fenchone très faible pour les akènes 22 et 23, le coefficient entre ce composé et le myrcène + α -phellandrène atteint 0.85.

3) Conclusion

Pour une même région géographique, des variations de profil et de teneur peuvent être observées. Les différences de composition de l'essence semblent se limiter à la présence ou non d'anisaldéhyde et d'anisacétone.

Les fenouils croissant dans la région de Béziers semblent principalement appartenir au groupe de lots 6-28, caractérisé par des fruits riches en estragole. Le pied A diffère des pieds B et C par des akènes de faible dimensions, pauvres en essence, renfermant moins d' α -pinène et plus de limonène + β -phellandrène. Cette variabilité pourrait ne pas être uniquement phénotypique et liée à l'environnement.

Nous ne pouvons préciser si le lot de Luján de Cuyo correspond à une ou plusieurs populations de fenouil. Les semences nous ont été fournies en grande quantité et proviennent probablement de plusieurs pieds. Néanmoins, les 33 akènes analysés ne correspondent pas forcément à autant d'individus. Par la similitude du profil de leur essence, les akènes 22 et 23 pourraient provenir d'une même inflorescence fructifiée. Il en serait de même pour les akènes 24 et 25, et 32 et 33.

Notre extraction a eu lieu par simple contact avec du pentane. Elle est rapide et ne nécessite pas une étape de concentration de l'extrait. Mais elle est moins complète que si nous avions opéré par contacts multiples et répétés avec une plus grande quantité de solvant.

Nous n'avons pas, par ailleurs, analysé l'essence akène par akène d'un même pied. Cependant, les variations de teneur et de profil observées par TSVETKOV (1970) sur des ombelles de différents ordres sont nettement inférieures à celles que nous avons obtenues pour les 33 akènes du fenouil de Luján de Cuyo.

Les fortes amplitudes du poids des akènes, de teneur en essence et de pourcentages des phénylpropènes ne nous paraissent pas devoir être uniquement expliquées par le degré de précision de notre méthode et la variabilité phénotypique. La teneur en estragole et en trans-anéthole est probablement déterminée génétiquement. Les akènes présentant des quantités voisines de ces 2 composés suggèrent qu'au moins une partie des fruits du lot n°48 provienne d'une population hétérogène, où pourraient s'hybrider des fenouils riches en estragole avec d'autres, riches en trans-anéthole.

IV RECHERCHE DE FACTEURS INDUISANT UNE VARIABILITE GENETIQUE

1) Introduction

Les 2 chapitres précédents donnent une idée de l'ampleur de la variabilité des caractères du fenouil: ainsi des lots de diverses origines ont pu être classés en plusieurs groupes d'après les caractères de l'essence des fruits et une analyse akène par akène d'un échantillon d'Argentine a mis en évidence une forte variabilité du profil de l'essence.

Nous avons voulu aller un peu plus loin dans notre étude. Il ne fait aucun doute qu'une bonne partie de la variabilité observée a une origine génétique et, par conséquent, un intérêt systématique. Nous nous sommes, logiquement, demandé quels facteurs pouvaient en être responsables. Deux directions ont été explorées:

- Constatant que les fruits les plus riches en essence et de plus grande taille sont souvent cultivés, nous avons essayé de définir l'effet de la sélection. Ce travail a été facilité par la mise à notre disposition par l'I.R.A.B. de lots de fenouils amers à différents stades de sélection. Nous avons également pu analyser des semences provenant d'une expérience de polyploïdisation sur le fenouil doux menée par PAUPARDIN.

- Nous nous sommes demandé si les lots dont les fruits renferment des quantités voisines d'anéthole et d'estragole ne pourraient être le résultat d'un croisement entre des fenouils riches en l'un seulement de ces 2 phénylpropènes. Cette hypothèse est renforcée par la forte variabilité des pourcentages de ces composés observée pour les akènes du fenouil de Luján de Cuyo. Nous avons vérifié que le fenouil présente une forte allogamie et

réalisé quelques hybridations entre fenouils différant, par exemple, par le renflement des gaines des feuilles stériles ou par les pourcentages de trans-anéthole et d'estragole de l'essence des fruits.

2) Influence de la sélection

a) Lots 70-74

Des échantillons de diverses origines ont été analysés à l'I.R.A.B, dont un fenouil amer. La société CERES (Méréville, Essonne) a effectué sur ce dernier une sélection massale aboutissant à l'obtention du cultivar "C 22". Un programme de sélection massale récurrente a été engagé en 1979 (DANES, 1984; MENORET, 1985). Son principe est d'extraire les individus les plus prometteurs d'une population hétérogène de départ, où s'effectuent des croisements aléatoires, de manière à obtenir une nouvelle population où la fréquence des allèles favorables aura augmenté. Ce programme a permis l'obtention, à 2 ans d'intervalle, des cultivars "C 25", "C 26", et "PR 27". Les lots 70 et 71 pourraient correspondre à des étapes de sélection des cultivars "C 22" et "C 25".

- La composition de l'essence des akènes des lots 70-74 (tab. 55) ne diffère que par la présence de composés d'oxydation dans les échantillons les plus vieux: des 4 premiers lots, analysés en 1984, seul le cultivar "C 25", récolté en 1983, ne présente pas d'anisaldéhyde et d'anisacétone; il en est de même du lot n°74, fourni par l'I.R.A.B. en novembre 1985 et analysé 1 et 3 mois après. Les 3 premiers lots présentent au moins 0.1 % de p-cymène. Le tableau 55 met en évidence une augmentation du pourcentage de trans-anéthole et une diminution de celui de fenchone quand on passe du lot n°70 au n°74.

La sélection étant basée sur la richesse en anéthole, estimée par spectrométrie, et non sur le profil, la teneur variable de terpènes, de 1.6 à 2.3 g par 100 g de matière sèche, n'a rien de surprenant. Il est normal de constater une baisse du pourcentage de terpènes lorsqu'on passe du lot 70 au lot 74 (tab. 56), suite à un accroissement de celui de trans-anéthole. La teneur en essence tend à augmenter avec la sélection.

n°	désignation et année de récolte	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
70	vulgaire 77	4,3	0,4	0,2	0,0	2,5	3,0	0,4	0,1	27,6	0,5	2,0	58,2	0,1	0,4
71	lot 229-04 79	4,5	0,2	0,2	0,1	1,7	2,1	0,4	0,2	18,4	0,3	2,6	68,0	0,5	0,5
72	"C 22" 81	4,2	0,2	0,2	0,1	1,6	1,9	0,4	0,2	17,0	0,3	2,7	70,1	0,3	0,4
73	"C 25" 83	3,6	0,2	0,2	0,2	1,8	2,2	0,4	0,0	16,1	0,3	2,6	72,4	0,0	0,0
74	"C 26" 85	3,6	0,1	0,2	0,1	1,1	1,2	0,2	0,0	10,0	0,2	2,8	80,4	0,0	0,0
clone C 84															
	pied a	6,4	0,2	0,4	0,1	1,8	1,8	0,3	0,0	16,6	0,3	2,6	69,0	0,0	0,0
	pied b	6,4	0,2	0,4	0,1	1,5	1,5	0,3	0,0	13,0	0,2	2,7	73,5	0,0	0,0
	pied c	6,1	0,2	0,4	0,1	1,8	1,8	0,3	0,1	15,5	0,3	2,6	70,4	0,0	0,0
	pied d	6,1	0,2	0,4	0,1	1,8	1,8	0,3	0,0	15,8	0,3	2,6	70,3	0,0	0,0
	moyenne \bar{x} des 4 pieds	6,3	0,2	0,4	0,1	1,7	1,7	0,3	0,0	15,2	0,3	2,6	70,8	0,0	0,0
	CV	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00		0,10	0,18	0,02	0,03		
clone L 84		7,1	0,2	0,4	0,2	1,8	1,7	0,4	0,0	13,6	0,2	2,7	71,3	0,0	0,0

Tableau 55: Influence de la sélection sur le profil de l'essence des akènes de fenouil amer. Les fruits des clones C et L ont été récoltés en 9/1984 et analysés en 12/1984.
Coefficient de Variation CV= s/\bar{x} , avec $s=\sqrt{\sum(x_i-\bar{x})^2/3}$

Elle est voisine pour les échantillons 71 et 72. Celle du lot 74 est particulièrement élevée. Il faut signaler que les fruits de ce lot ont été récoltés en automne sur des fenouils en première année de croissance semés au printemps; malgré une récolte tardive, le mûrissement n'a pu être complet et nous n'avons pu analyser que des akènes brun-verdâtre.

Les fruits sont peu divisés. On notera (tab. 57) le faible pourcentage d'akènes de l'échantillon n°73, pourtant bien mûr. Le lot n°74 présente les fruits les moins mûrs et les plus courbes. Cette courbure reflète la mauvaise croissance d'un des 2 akènes, qui pourrait être liée à une absence d'embryon. La fécondation peut, en effet, ne pas être complète, si les insectes pollinisateurs ne sont pas assez nombreux quand la floraison est tardive.

n°	désignation et année de récolte	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	g de terpènes /100g de MS	α-pinène / limonène + β-phell.
		mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF				
70	vulgaris 77	230	6,0	3,9	31	39,2	2,3	1,4
71	lot 229-04 79	270	6,4	4,6	24	28,4	1,8	2,2
72	"C 22" 81	280	6,2	4,6	22	26,4	1,6	2,2
73	"C 25" 83	325	8,4	5,9	24	24,8	2,1	1,7
74	"C 26" 85	660	11,1	8,0	18	16,7	1,9	3,2
clone C 84								
	pied a	810	12,0	8,7	18	28,3	3,4	3,5
	pied b	670	11,3	8,3	18	23,8	2,7	4,3
	pied c	640	10,9	7,7	22	26,8	2,9	3,4
	pied d	630	9,3	6,8	19	27,0	2,5	3,4
	moyenne \bar{x} des 4 pieds	690	10,8	7,9	19	26,5	2,9	3,6
	CV	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,13	0,12
clone L 84		740	11,1	8,1	19	25,8	2,9	4,1

Tableau 56: Influence de la sélection sur l'essence des akènes de fenouil amer. Les fruits des clones C et L ont été récoltés en 9/1984 et analysés en 12/1984. La différence entre poids de matière fraîche (MF) et poids de matière sèche (MS), établi à partir du résidu d'extraction au pentane, donne le pourcentage d'eau ainsi que de lipides passés dans le solvant.
Coefficient de Variation CV= s / \bar{x} , avec $s = \sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 / 3}$

Les akènes sont lourds (tab. 57); leur taille est minimale pour le lot n°70. La sélection ne semble pas s'accompagner d'une augmentation de leurs dimensions: la longueur, la largeur et l'épaisseur des lots 73 et 74 sont en effet inférieures à celles du lot n°72, correspondant à un cultivar moins amélioré.

b) Clones C et L

- En 1982, nous avons mis au point, dans le cadre d'un Diplôme d'Etudes Approfondies, un milieu permettant la micropropagation du fenouil amer par culture d'apex. Ayant obtenu plusieurs clones du cultivar "C 22", nous nous sommes demandé si une sélection sur les caractères de l'essence des explantats pouvait être envisagée. Nous avons montré une baisse de teneur dans les tissus hyperhydriques et des différences importantes entre les essences des différentes parties des explantats non enracinés.

n°	désignation et année de récolte	% de fruits bruns	% d' akènes	% de fruits courbes	poids en grammes de 1000 akènes bruns	nombre d'akènes bruns par gramme	akènes bruns, en centième de millimètre								
							longueur			largeur			épaisseur		
							\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV	\bar{x}	IC	CV
70	vulgaire 77	100	58	2	5,6	180	637	25	0,14	169	5	0,10	73	3	0,14
71	lot 229-04 79	100	49	9	5,9	170	728	27	0,14	252	10	0,14	117	3	0,10
72	"C 22" 81	95	32	6	6,5	150	793	34	0,15	277	13	0,17	108	5	0,15
73	"C 25" 83	100	12	10	4,9	210	707	24	0,13	221	8	0,13	96	3	0,14
74	"C 26" 85	23	38	21	5,0	210	724	22	0,11	215	8	0,14	94	4	0,15
clone C 84															
	pied a 1 ombelle	100	95	10	9,3	110	924	15	0,06	400	6	0,05	125	3	0,09
	pied b 3 ombelles	98	92	21	7,5	130	889	43	0,18	350	19	0,20	108	5	0,18
	pied c 5 ombelles	100	90	17	8,8	110	918	17	0,07	359	7	0,07	120	3	0,09
	pied d 11 ombelles	100	92	18	8,7	110	904	15	0,06	341	8	0,08	115	4	0,13
	moyenne \bar{x} des 4 pieds	100	92	17	8,6	120	909			363			117		
	CV	0,01	0,02	0,28	0,09	0,10	0,02			0,07			0,06		
clone L 84															
	12 ombelles	100	15	11	8,7	120	1036	32	0,11	284	8	0,11	131	5	0,13

Tableau 57: Influence de la sélection sur quelques caractères des semences de fenouil amer. Les fruits des 2 clones ont été récoltés en 9/1984 sur les ombelles mûres les premières et pesés en 7/1986. Intervalle de confiance à 5 % IC = $1,96 \times s/\sqrt{n}$, n étant le nombre de mesures. Coefficient de Variation CV = s/\bar{x} , avec $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$

Une étude plus précise sur la composition de l'essence des différents organes et sur l'influence de l'enracinement des explantats a été menée par LAMARTI (1987) pour 3 clones du cultivar "C 25". Une sélection sur la richesse et le profil de l'essence des explantats s'avère difficile: l'analyse de l'ensemble des parties aériennes non hyperhydriques est peu précise et une étude préalable *in vivo* sur les rapports éventuels entre les caractères de l'essence des fruits et des autres organes serait souhaitable. Signalons que nous avons obtenu en 1983, pour le fenouil de Vias dont l'essence des akènes est riche en estragole (n°21, tab. 18, page 107), un clone ayant beaucoup plus d'estrageole que de trans-anéthole dans les parties aériennes.

- Fin 1982, nous avons fourni à l'I.R.A.B. 14 clones isolés du cultivar "C 22", désignés par les lettres de A à N. Nous n'avons, pour notre part, enraciné qu'un faible nombre d'explantats des clones C et L sur un milieu

dénué d'auxine et de cytokinine. Les petits plants ont été repiqués dans des gobelets en plastique remplis d'un mélange de terre et de sable, soumis à une atmosphère humide pendant au moins une semaine, puis transférés en champs en juin 1983. La tige principale est violacée à sa base pour le clone C. Elle est souvent courbée vers le sol, d'où le développement par dominance apicale de rameaux axillaires. Sur 18 explants enracinés du clone C, 9 ont survécu au transfert et seulement 5 ont résisté à l'hiver 83-84.

- Nous avons étudié les caractères et l'essence des fruits de deuxième année des premières ombelles matures d'un pied du clone L et de 4 pieds du clone C, appelés a, b, c et d.

La composition et le profil de l'essence des akènes (tab. 55) sont similaires entre les 2 clones. On note l'absence de composés d'oxydation du trans-anéthole et des pourcentages d' α - et β -pinène élevés comparés à ceux du cultivar "C 22".

Le profil est voisin pour les 4 pieds du clone C: les coefficients de variation sont tous inférieurs à 0.20. Les faibles différences de pourcentages peuvent s'expliquer par la limite de précision de notre méthode analytique et par une faible variabilité d'ordre phénotypique.

Le pourcentage de terpènes des 2 clones se rapproche de celui du fenouil "C 22". Le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène des clones C et L est élevé. La teneur en essence varie peu mais dépasse celle du cultivar "C 22", peut-être parce que nous n'avons considéré que les akènes des premières ombelles fructifiées.

Le poids et les dimensions des akènes des premières ombelles des clones C et L sont plus élevés que ceux des lots 72-74. Le clone L se distingue par des fruits peu dissociés et étroits; la largeur des fruits pourrait être déterminée génétiquement.

c) Action de la colchicine sur des explantats de fenouil doux

L'I.R.A.B. s'est également intéressé à l'amélioration du fenouil doux. Sa micropropagation par culture d'apex a été mise au point par plusieurs chercheurs (GARCIA-RODRIGUEZ et al., 1978; PAUPARDIN et al., 1980; DU MANOIR et al., 1985).

A partir d'une souche améliorée de fenouil doux de Provence, PAUPARDIN a obtenu 13 clones. Le milieu de base a été enrichi avec 1 mg/l de colchicine

pour 4 d'entre-eux (clones 1009-1012); les 9 autres ont été enracinés en présence (clones 1002-1008) ou en absence (clones 1000-1001) d'acide indole-butyrique (AIB).

Les petits plants ont été transférés le 30/12/1980 dans un substrat composé de 50 % de tourbe blonde et de 50 % de vermiculite et le repiquage en pleine terre a eu lieu le 1/6/81 à Thiais (Val-de-Marne). Les fruits ont été récoltés le 25/8/81. Nous avons jugé intéressant d'analyser leur essence.

Après semis (28/3/1983) nous avons aussi obtenu la croissance de 3 pieds du clone 1000 dans les terrains d'essais de la Faculté de Lille. Nous avons observé un hypocotyle long, une longueur totale des entre-noeuds faible, de 26, 37 et 44 cm au 161^{ème} jour de culture, une importante ramification et un fort étalement, les ombelles fructifiées touchant parfois le sol (planche 2, photo 11); la montaison semble précoce, avec une longueur totale des entre-noeuds d'environ 9 cm au 94^{ème} jour de culture.

Comme les fruits ne sont pratiquement pas séparés, nous n'avons pu analyser l'essence des akènes, et nous avons considéré les diakènes bruns (tab. 58 et 59).

Si on compare les tableaux 23 (page 116) et 58, on constate que le profil des 13 clones est voisin de celui obtenu pour le lot n°78, avec un très faible pourcentage de fenchone et des teneurs voisines en α -pinène et limonène + β -phellandrène. Ce rapprochement n'est pas surprenant puisque le lot n°78 nous a été fourni par l'I.R.A.B. .

La composition de l'essence des diakènes est la même pour les 13 lots. Le pic du limonène présente un épaulement qui signe la présence de β -phellandrène et est peu variable. On n'observe que des traces de camphène et de composé sortant à 128°C. La présence de composés d'oxydation est normale car l'analyse a eu lieu 4 ans après la récolte.

Mis à part les composés d'oxydation, les pourcentages des constituants sont voisins, avec des coefficients de variation inférieurs à 0.20. Le clone 1002 est le plus riche en anisaldéhyde, anisacétone et composé sortant à 189°C. Ces 3 produits d'oxydation du trans-anéthole présentent entre eux une forte corrélation ($r > 0.94$) et sont inversement proportionnels au trans-anéthole ($r < -0.96$). Le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène est peu variable, de 0.95- $\overline{1.09}$ -1.18.

n° des clones								fenchone					
	α -pinène	camphène	sabinène?	myrcène + α -phellandrène	limonène + β -phellandrène	γ -terpinène	p-cymène		estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	pic à 189°C	anisacétone?
1000	2,3	0,1	0,3	0,4	2,0	0,2	0,1	1,6	3,4	84,3	2,2	0,2	2,4
1001	2,2	0,1	0,4	0,4	2,2	0,3	0,2	1,4	3,4	82,3	2,6	0,4	3,5
1002	2,3	0,1	0,4	0,4	2,3	0,2	0,2	2,1	3,5	75,9	4,8	0,9	6,5
1003	2,5	0,1	0,4	0,4	2,2	0,2	0,2	2,1	3,5	80,6	2,7	0,4	4,3
1004	2,3	0,1	0,3	0,4	2,0	0,2	0,2	1,4	3,4	83,6	2,5	0,3	3,1
1005	2,4	0,1	0,3	0,4	2,1	0,2	0,1	1,6	3,5	82,1	2,9	0,4	3,5
1006	2,2	0,1	0,4	0,4	2,3	0,2	0,1	1,7	3,5	83,2	2,4	0,3	2,7
1007	2,5	0,1	0,4	0,4	2,1	0,2	0,1	1,7	3,5	81,3	2,9	0,4	3,9
1008	2,2	0,1	0,3	0,3	1,8	0,2	0,1	1,5	3,4	85,6	1,9	0,2	2,1
1009	2,3	0,1	0,4	0,4	2,0	0,2	0,1	1,4	3,5	82,1	3,0	0,4	3,6
1010	2,1	0,1	0,3	0,4	2,1	0,2	0,1	1,1	3,4	84,3	2,1	0,3	3,0
1011	2,3	0,1	0,3	0,4	2,0	0,2	0,1	1,8	3,5	82,3	2,8	0,4	3,3
1012	2,0	0,1	0,3	0,3	2,0	0,2	0,1	1,1	3,5	83,6	2,5	0,3	3,5
moyenne \bar{x}	2,3	0,1	0,4	0,4	2,1	0,2	0,1	1,6	3,5	82,4	2,7	0,4	3,5
écart-type s	0,1		0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	2,4	0,7	0,2	1,1
CV	0,06		0,15	0,10	0,07	0,13	0,37	0,20	0,01	0,03	0,26	0,46	0,31

Tableau 58: Profil de l'essence des diakènes mûrs de 13 clones de fenouil doux obtenus *in vitro*; clones 1000-1001; milieu d'enracinement sans auxine
clones 1000-1008; milieu d'enracinement avec 1 mg/l d'AIB (acide indole-butyrique)
clones 1008-1012; milieu de base enrichi avec 1 mg/l de colchicine
écart-type estimé $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / 12}$
Coefficient de Variation $CV = s / \bar{x}$
Les semences ont été récoltées en 8/1981 et analysées en 4-5/1985

Nous n'avons observé aucune différence significative de pourcentages de constituants entre les clones 1000-1001, 1002-1008 et 1009-1012, de même qu'entre les clones 1000-1008 et 1009-1012. La colchicine n'induit pas de manière significative une diminution du pourcentage de terpènes.

Les fruits des 13 clones ne sont pratiquement pas séparés et sont droits (tab. 59). Le pourcentage de fruits bruns des clones 1000-1001 est significativement inférieur à celui des clones 1002-1008 et 1009-1012. Les diakènes verts sont toujours plus lourds que les bruns, mais leurs poids ne sont pas pour autant fortement corrélés ($r=0.55$). Leur rapport varie de 1.02 (clone 1000) à 1.59 (clone 1006). Les diakènes des clones 1000-1001

n° des clones	% de fruits bruns	% d'akènes	% de fruits tordus	poids en g de MF de		nombre de diakènes par g de MF	teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes
				500 verts	diakènes bruns		mg / 500 diakènes	g/100g de MS	g/100g de MF		
1000	48	0	0	4,85	4,75	100	235	5,9	4,9	12	7,4
1001	79	0	0	4,7	3,7	130	195	6,7	5,2	16	7,5
\bar{x} 1000-1001	64	0	0	4,8	4,2	120	215	6,3	5,1	14	7,4
1002	83	0	0	3,65	3,5	140	160	6,1	4,9	15	8,3
1003	87	0	0	4,3	3,55	140	180	6,5	5,1	15	8,4
1004	92	1	8	4,45	3,3	150	175	6,7	5,4	14	7,1
1005	76	0	2	3,95	2,95	150	175	5,3	4,4	12	7,5
1006	95	0	2	4,3	2,7	160	145	5,9	4,8	14	7,8
1007	85	0	3	4,4	3,5	140	175	5,7	4,7	14	8,0
1008	87	0	3	4,4	3,55	140	185	6,7	5,5	13	6,7
\bar{x} 1003-1008	86	0	3	4,2	3,3	140	170	6,2	5,0	14	7,7
1009	91	0	3	4,6	4,05	120	220	7,2	5,8	14	7,1
1010	96	0	3	4,45	3,5	140	190	5,6	4,6	13	6,7
1011	95	0	2	4,8	3,85	130	220	7,0	5,6	15	7,6
1012	92	0	3	3,45	3,35	150	210	7,5	5,9	16	6,5
\bar{x} 1009-1012	94	0	3	4,35	3,7	140	210	6,8	5,5	14	7,0
\bar{x} 1000-1012	85	0	2	4,35	3,55	140	190	6,4	5,1	14	7,4
écart-type s	13		2	0,4	0,5	10	25	0,7	0,5	1	0,6
CV	0,15		0,97	0,10	0,14	0,10	0,14	0,11	0,09	0,09	0,08

Tableau 59. Quelques caractéristiques des semences et de l'essence des fruits mûrs de 13 clones de fenouil doux obtenus *in vitro*

clones 1000-1001; milieu d'enracinement sans auxine

clones 1002-1008; milieu d'enracinement avec 1 mg/l d'AIB

clones 1009-1012; milieu de base enrichi avec 1 mg/l de colchicine

La teneur en essence des fruits bruns est rapportée à 500 diakènes, 100 g de matière sèche (MS) ou fraîche (MF). La différence entre le poids de matière fraîche et le poids de matière sèche, établi à partir du résidu d'extraction au pentane, donne le pourcentage d'eau ainsi que de lipides passés dans le solvant.

Les fruits des clones ont été récoltés en 8/1981, triés et pesés en 9/1982, et analysés en 4-5/1985

Coefficient de Variation CV= s/ \bar{x} avec écart-type estimé $s = \sqrt{I(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, n étant le nombre de mesures

sont significativement moins légers que ceux des clones 1002-1008; le clone 1000 présente les fruits les plus lourds.

Avec leurs 5.3-6.4-7.5 g d'essence par 100 g de matière sèche, les 13 clones s'avèrent riches en essence. Une relation semble exister entre le poids des diakènes bruns et leur richesse en essence (r=0.82), mais on

remarquera que le clone 1012 a une teneur en essence supérieure à celle du clone 1002, malgré des fruits plus légers.

La teneur en essence, rapportée au nombre de diakènes, est significativement inférieure pour les clones 1002-1008 par rapport aux clones 1000-1001 et 1009-1012: on a 170 mg par 500 diakènes bruns contre 215 et 210 mg respectivement. Mais ces différences ne sont plus significatives quand la teneur est rapportée au poids de matière sèche ou fraîche.

Le pourcentage d'eau et de lipides extraits, de 12-14-16 %, est relativement constant.

3) Biologie florale du fenouil et essais d'autopollinisation

- Le stylopode commence à sécréter du nectar avant que les pétales et les étamines ne se déploient et continue à être luisant après leur chute pendant un moment. Le nectar est accessible aux insectes dès le début de sa formation, car les pétales involutés cachent incomplètement le stylopode. Le pollen se colle facilement au stylopode dès qu'il devient gluant. BELL (1971) parle de "réservoir de pollen" pour le stylopode et pense que sa coloration jaune pourrait attirer les insectes.

Nous nous sommes demandé si le nectar, de saveur sucrée, présente des composés aromatiques. Les fleurs des ombelles ensachées fournissent un abondant nectar, que l'on peut récupérer à l'aide d'une microseringue. Nous avons extrait le microvolume de nectar prélevé sur une ombelle du pied 110b, avec une quantité équivalente de pentane purifié. Après décantation, quelques μ l de la phase pentanique ont été injectés et chromatographiés en phase gazeuse à forte sensibilité. Nous n'avons obtenu que de petits pics d'impuretés, ne correspondant pas aux composés habituels de l'essence.

- Nous avons voulu avoir une idée des insectes visitant les fleurs des fenouils cultivés en 1983 dans les terrains d'essais de la Faculté de Lille. Avant de prélever chaque insecte, nous avons observé son comportement et nous nous sommes assuré qu'il s'intéressait effectivement au nectar. La liste donnée dans le tableau 60 est loin d'être exhaustive car nous n'avons récolté qu'un faible nombre d'individus parmi ceux qui nous ont paru différents. Les insectes butinent les stylopodes dès

qu'apparaît le nectar. Après une averse, ils s'approchent des anthères, car le nectar dilué remonte le long des filets des étamines par capillarité.

Quelques espèces s'intéressent en même temps au nectar et au pollen; nous l'avons vérifié pour *Eristalis nemorum* L., *E. pertinax* Scop., *Myiatriopa florea* Meigen, *Syrphus corollae* F. et *Syritta pipiens* L. .

Les diptères sont particulièrement nombreux; on trouve surtout des Syrphidés, comme *Syrphus corollae* F. . La "volucelle zonée" (*Volucella zonaria* Poda) se remarque aisément par sa grande taille et la "Lucilie impériale" (*Lucilia caesar* L.) par sa couleur verte.

Les hyménoptères sont fréquents, en particulier une guêpe, *Vespa vulgaris* L. . Les guêpes sont très attirées par le nectar accumulé sur les stylopoies des fleurs des ombelles ensachées et peuvent percer les sachets pour le récupérer. Elles n'hésitent pas à s'attaquer à d'autres insectes pour dévorer leur abdomen rempli de nectar. Nous n'avons récolté qu'une abeille, l'"abeille mellifique" (*Apis mellifica* L.).

Un lépidoptère s'est intéressé au nectar, la "petite tortue" (*Aglais urticae* L.). Les coléoptères n'ont pas visité les fleurs, de même que les hémiptères, pourtant nombreux à sucer la sève de la plante.

Plusieurs facteurs agissent sur la composition quantitative et qualitative des populations d'insectes butinant les fleurs de fenouil. Les insectes sont plus nombreux par temps ensoleillé, donc au milieu de la journée. Les guêpes butinent le nectar même par temps humide; leur nombre était plus faible en début de floraison. Il n'est pas possible dans un terrain régulièrement sarclé de rencontrer beaucoup de fourmis, alors que ces hyménoptères peuvent s'intéresser au nectar, comme nous l'avons constaté à Vannes (Morbihan) sur quelques pieds de fenouil sauvage.

- En août-septembre 1983, nous avons ensaché quelques ombelles, pensant pouvoir obtenir une éventuelle autopollinisation. Pratiquement aucun fruit n'a été formé (seulement de 1 à 3 pour des ombelles des pieds 94a, 110b, 112a, correspondant tous au fenouil bulbeux). Ces quelques fruits obtenus ont été semés en 1984 et ont donné des pieds présentant un renflement très variable du bulbe, pouvant dépasser 14 cm de largeur.

ordre	famille	espèce	collection de référence	coefficient de certitude de M. Rogez
<i>Hymenoptera</i>	<i>Apidae</i>	<i>Apis mellifica</i> L.	Cavro	9
<i>Hymenoptera</i>	<i>Tenthredinidae</i>	<i>Athalia colibri</i> Christ.	Cavro	8
<i>Hymenoptera</i>	<i>Vespidae</i>	<i>Vespa vulgaris</i> L.	Cavro	9
<i>Hymenoptera</i>	<i>Crabronidae</i>	<i>Clytochrysus cavifrons</i> Ths.	Cavro	8
<i>Hymenoptera</i>	<i>Chalcididae</i>	indéterminé		
<i>Diptera</i>	<i>Calliphoridae</i>	<i>Lucilia caesar</i> L.	Van Oye	7
<i>Diptera</i>	<i>Muscidae</i>	<i>Graphomyia maculata</i> Scop.	Gouillard	7
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Eristalis horticola</i> Deg.	Gouillard	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Eristalis nemorum</i> L.	Van Oye	8
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Eristalis pertinax</i> Scop.	Gouillard	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Myiatropa florea</i> Meigen	Gouillard	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Sphaerophoria scripta</i> L., ♂ et ♀	Van Oye	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Melanostoma mellinum</i> L.	Van Oye	7
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Pipizella virens</i> F.	Gouillard	8
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Platycheirus (=Platycheirus) sp.</i>	Van Oye	4
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Syrphus corollae</i> F.	Van Oye	6
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Volucella zonaria</i> Poda	Gouillard	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Syritta pipiens</i> L.	Gouillard	9
<i>Diptera</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Pallontera sp.</i>	Gouillard	10
<i>Diptera</i>	<i>Tachinidae</i>	<i>Ernestia erigone</i>	Gouillard	8
<i>Diptera</i>	<i>Tachinidae</i>	indéterminé		8
<i>Lepidoptera</i>	<i>Nymphalidae</i>	<i>Aglais urticae</i> L.	Gouillard	10

Tableau 60. Liste de quelques insectes observés en 1983 en train de butiner le nectar des fleurs de fenouils cultivés dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille.

La détermination a été faite par Monsieur Léon Rogez, Conservateur du Muséum d'Histoire Naturelle de Lille, avec un coefficient de certitude de 1 à 10, à partir des collections de référence du Muséum; hyménoptères (Cavro), diptères (Van Oye) et insectes divers (Gouillard), du nord de la France.

Les insectes ont été déposés au Muséum d'Histoire naturelle de Lille, 19, rue de Bruxelles, 59000 Lille.

- Ayant cultivé à Lille 5 pieds du lot n°3, nous avons constaté une absence de déploiement des filets des étamines pour ce fenouil, appartenant à la sous-espèce *piperitum*. Les fleurs des pieds du lot n°1, relevant de la même sous-espèce, se développent normalement. Nous pensons avoir affaire à une stérilité mâle du même type que celle décrite par QUAGLIOTTI et al. (1968) ou RAMANUJAM et TEWARI (1970).

4) Hybridations

a) Introduction

Nous avons tenté d'obtenir des hybrides entre plusieurs fenouils, différant par le port et par l'essence des fruits. Comme nous l'avons indiqué (page 101) des fleurs d'ombelles ensachées ont été castrées puis fécondées par mise en contact à l'aide d'une pince des anthères du pied mâle sur les stylopodes gluants et les stigmates. Ces opérations ont été menées en août-septembre 1983 sur les ombelles de quelques pieds cultivés dans les terrains d'essais de la Faculté des Sciences de Lille. Le nectar accumulé sur les stylopodes a l'inconvénient de favoriser le développement d'une moisissure noirâtre. Les fruits obtenus ont été récoltés de fin septembre à mi-novembre et semés sur couche le 20/4/1984. Le repiquage des plantules obtenues en champs a eu lieu le 4 juillet. En raison d'un automne particulièrement pluvieux et d'un sol peu perméable, les hybrides n'ont pu terminer leur développement et ont donné peu de fruits.

Nous avons obtenu la germination des fruits issus des croisements pied femelle X pied mâle suivants: 15a X 17a, 15a X 69a, 15a X 112a, 17a X 110b, 62b X 68b, 62b X 110b, 63b X 92a, 72b X 17a.

b) Caractères morphologiques

Le pied 15a a été retenu comme parent à cause de la couleur brunâtre bien nette de son feuillage (planche 1, photo 6). Les hybrides 15 X 17, 15 X 69 et 15 X 112 donnent des plantules avec un hypocotyle rosé à son tiers supérieur, une gaine rosée et des feuilles sans coloration rousse marquée. Une légère teinte brunâtre a été parfois observée pour les plus jeunes feuilles.

Les pieds 110b et 112a sont des parents mâles intéressants à cause du renflement des gaines des feuilles stériles. Le caractère bulbeux des pieds hybrides est plus ou moins marqué. Nous avons observé, 154 jours après le

semis, des bulbes d'au moins 5 cm de largeur pour 7 des 21 pieds issus du croisement ♀ 15 X ♂ 112 (planche 2, photo 13). Comme le caractère bulbeux ne peut provenir du parent femelle, nous avons la preuve qu'il y a bien eu hybridation. L'épaisseur non négligeable (9-15-25 cm) de la base de la tige principale des hybrides 15 X 112 au 154^{ème} jour de culture a aussi toutes les chances d'être due au parent mâle.

c) Caractères de l'essence des fruits (tab. 61 et 62)

α) ♀ 15a X ♂ 112a

Les parents proviennent de 2 lots différant non seulement par les caractères morphologiques, mais aussi par l'essence des fruits: le fenouil à feuillage roux n°15 possède des akènes riches en estragole, alors que ceux du fenouil bulbeux n°112 le sont en trans-anéthole, avec un rapport α-pinène / limonène + β-phellandrène et une teneur en essence faibles.

L'essence des akènes du pied 15a diffère de celle trouvée pour le lot n°15 par un plus grand pourcentage d'α-pinène (12.7 contre 4.9 %). Le profil de l'essence des akènes du pied 112a est très proche de celui observé pour le lot n°112, si on néglige la présence des composés d'oxydation du trans-anéthole (12.5 % d'anisacétone, 4.6 % d'anisaldéhyde, 1.2 % du composé sortant à 189°C).

Nous avons reporté dans le tableau 61 les profils de l'essence des quelques fruits obtenus sur les pieds hybrides a, b et c. Le pied b possède comme le parent femelle des akènes riches en estragole, mais avec plus de trans-anéthole (17.3 contre 8.0 %). Les 2 autres pieds ont hérité de la forte teneur en trans-anéthole du parent mâle, avec seulement 2.0 et 3.3 % d'estragele; l'hybridation a eu lieu de manière indiscutable pour ces 2 pieds, malgré une largeur de la tige principale pas très importante, de 9 et 11 mm à sa base au 154^{ème} jour de culture; notons que ces 2 pieds diffèrent par les pourcentages d'α-pinène (12.1 et 1.7 %) et de fenchone (9.2 et 17.8 %). L'essence des akènes du pied c semble un peu oxydée, avec 1.1 % de p-cymène, 0.8 % d'anisacétone et 0.7 % d'anisaldéhyde. Les pourcentages de β-pinène, de myrcène + α-phellandrène et de limonène + β-phellandrène se rapprochent de ceux observés pour le parent femelle pour les 3 pieds. Les 1.6-4.2 % de γ-terpinène sont probablement hérités du pied femelle.

n°	α -pinène	camphène	β -pinène	sabinène?	myrcène + α -phellandréne	limonène + β -phellandréne	γ -terpinène	p-cymène	fenchone	pic à 128°C	estragole	trans-anéthole	anisaldéhyde	anisacétone?
♀ 15a	12,7	0,3	0,8	0,8	2,3	4,6	0,4	0,0	25,5	0,4	43,4	8,0	0,0	0,0
♂ 112a	1,3	0,1	0,0	0,5	0,1	17,2	0,0	0,1	9,1	0,0	3,1	49,2	4,6	12,5
♀ X ♂ a	12,1	0,1	1,6	0,3	1,3	4,7	1,8	0,1	9,2	0,1	2,0	66,1	0,0	0,0
b	3,5	0,2	1,1	0,7	3,2	5,0	1,6	0,1	19,5	0,2	47,4	17,3	0,0	0,0
c	1,7	0,2	1,3	0,9	2,1	6,8	4,2	1,1	17,8	0,2	3,3	58,3	0,7	0,8
♀ 62b	5,5	0,2	0,2	0,4	3,9	2,6	0,6	0,0	21,2	0,4	2,2	62,3	0,0	0,0
♂ 68b	2,1	0,3	0,0	0,2	2,1	5,0	0,5	0,1	25,8	0,4	2,1	61,0	0,0	0,0
♀ X ♂ a	4,9	0,4	0,2	0,2	3,2	5,0	0,9	0,2	26,8	0,4	2,1	54,5	0,1	0,1
b	4,3	0,4	0,1	0,7	4,6	5,6	1,1	0,1	31,7	0,5	1,5	48,8	0,0	0,0
c	2,5	0,3	0,0	0,1	2,4	3,4	1,6	0,1	28,1	0,4	2,0	58,7	0,0	0,0
d	3,9	0,4	0,2	0,4	3,5	5,3	1,2	0,2	30,0	0,4	1,8	52,1	0,0	0,0
e	2,9	0,5	0,1	0,1	3,0	4,3	1,4	0,1	35,2	0,5	1,7	49,9	0,0	0,0
f	1,9	0,3	0,0	0,2	2,5	4,3	1,2	0,0	29,1	0,5	2,0	57,7	0,0	0,0
g	2,5	0,4	0,0	0,2	2,8	6,8	3,2	0,7	28,4	0,4	1,7	52,6	0,0	0,0
♀ 62b	5,5	0,2	0,2	0,4	3,9	2,6	0,6	0,0	21,2	0,4	2,2	62,3	0,0	0,0
♂ 110b	0,7	0,1	0,0	0,2	0,5	12,5	0,1	0,0	4,1	0,0	2,6	78,8	0,0	0,1
♀ X ♂ a	6,0	0,1	0,2	0,1	1,3	10,6	0,6	0,0	11,1	0,1	2,1	67,4	0,0	0,0
b	2,1	0,2	0,0	0,3	2,2	13,7	0,8	0,1	22,0	0,3	1,8	55,9	0,0	0,0
c	2,3	0,2	0,0	0,3	2,1	15,9	0,7	0,1	24,8	0,3	1,6	51,2	0,0	0,0
♀ 63b	8,4	0,3	0,5	0,2	1,8	3,1	0,7	0,1	30,8	1,0	1,7	51,0	0,0	0,0
♂ 92a	1,5	0,3	0,1	0,4	0,0	11,1	0,0	0,0	17,0	0,1	3,2	31,8	9,3	21,1
♀ X ♂ a	4,8	0,2	0,2	0,2	1,6	5,0	0,8	0,0	20,5	0,3	2,1	63,7	0,0	0,0
b	5,7	0,2	0,2	0,1	1,8	6,1	0,6	0,0	22,1	0,3	2,1	60,5	0,0	0,0
c	4,1	0,3	0,2	0,2	2,1	8,0	0,8	0,0	24,4	0,4	2,0	56,9	0,0	0,0

Tableau 61: Profil de l'essence des semences de fenouils obtenus après croisement, comparé à ceux des pieds parents.

Les valeurs du rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne des hybrides sont intermédiaires entre celles des 2 parents (tab. 62). La faible teneur en essence du parent mâle semble se retrouver pour le pied c.

β) ♀ 62b X ♂ 68b

Les lots 62 et 68 sont proches, par leur teneur en essence élevée, leur faible pourcentage d'estragole et celui au contraire important de trans-anéthole. Les profils des pieds 62b et 68b sont voisins de ceux

observés pour les lots 62 et 68 (tab. 23 page 116). La teneur en essence du parent mâle est cependant faible comparée à celle du lot 68 (3.7 contre 8.2 g par 100 g de matière sèche).

Les 7 pieds hybrides présentent un profil similaire. Les pourcentages de terpènes, de γ -terpinène et de fenchone sont supérieurs à ceux des 2 parents. Les rapports α -pinène / limonène + β -phellandrène sont intermédiaires sauf pour le pied g (0.37).

Nous n'avons pas observé de composés d'oxydation du trans-anéthole pour les analyses faites en 1984. La teneur en essence des hybrides est élevée, et dépasse 10 g par 100 g de matière sèche pour les akènes récoltés sur les pieds b, d et f.

γ) ♀ 62b X ♂ 110b

Les lots 62 et 110 diffèrent non seulement par le développement ou non d'un bulbe, mais aussi par les pourcentages de fenchone, d' α - et de β -pinène et par la teneur en essence, qui sont plus faibles pour le fenouil bulbeux, contrairement au pourcentage de limonène + β -phellandrène. Le pied 110b possède peu de γ -terpinène par rapport au lot 110 (0.1 contre 0.7 %), et moins de composés d'oxydation (0.1 contre 1.1 % d'anisacétone).

Les 3 pieds hybrides a, b et c semblent avoir hérité du pourcentage de limonène + β -phellandrène du parent mâle. Le pourcentage d' α -pinène et le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène sont intermédiaires entre ceux des 2 parents. Le pourcentage de fenchone est aussi intermédiaire pour le pied a. Du parent femelle, le pied a possède le pourcentage de β -pinène et les pieds b et c celui de fenchone. La teneur en essence des 3 hybrides est peu importante.

δ) ♀ 63b X ♂ 92a

Les lots 63 et 92 (tab. 24, 26 pages 118, 120) diffèrent nettement par la teneur en essence des akènes (7.1 contre 1.1 g par 100 g de matière sèche), ainsi que par leur rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène (1.7 contre 0.17). Le pied 63b possède par rapport au lot n°63 plus d' α -pinène (8.4 contre 2.4 %), de fenchone (30.8 contre 13.0 %), de terpènes (47.1 contre 19.2 %) et une teneur en essence plus élevée (8.1 contre 4.6 g par 100 g de matière fraîche, 730 contre 165 mg par 1000 akènes). Le pied 92a est moins oxydé que ce qui a été trouvé pour le lot 92.

désignation	analysé		teneur en essence			g d'eau et de lipides extraits / 100g de MF	% de terpènes	α-pinène / limonène + β-phell.
	akènes	diakènes maturité en	mg / 1000 akènes	g/100g de MS	g/100g de MF			
Q 15 feuillage roux	50	+ 86	150	3,5	2,9	14	48,1	2,74
Q 112 "Hâtif de Genève", Clause	40	± 86	80	2,5	2,2	9	28,8	0,07
Q 15 X Q 112 pied a	2	- 86	70	5,3	4,1	19	31,3	2,59
pied b	21	± 84	60	5,6	4,2	21	35,3	0,71
pied c	7	- 86	40	3,0	2,7	7	36,3	0,26
Q 62 Amsin, Belgique	30	± 86	370	4,8	3,9	16	35,3	2,15
Q 68 Ténériffe, Canaries	30	+ 86	120	3,7	2,8	20	36,6	0,41
Q 62 X Q 68 pied a	9	± 86	180	5,9	5,0	11	42,8	0,97
pied b	3	+ 86	230	15,1	10,9	17	49,3	0,78
pied c	7	+ 84	350	9,7	7,1	20	39,2	0,74
pied d	5	+ 86	210	14,3	10,2	19	45,8	0,73
pied e	10	+ 84	260	5,9	4,6	18	48,4	0,67
pied f	10	+ 84	350	11,1	7,5	25	40,3	0,43
pied g	4	+ 86	100	7,9	5,5	25	45,4	0,37
Q 62 Amsin, Belgique	30	± 86	370	4,8	3,9	16	35,3	2,15
Q 110 "Géant Mammoth Perfection"	33	± 86	100	2,5	2,1	10	18,3	0,06
Q 62 X Q 110 pied a	2	± 86	40	1,7	1,4	19	30,3	0,56
pied b	1	10 - 86	70	3,2	2,7	12	42,0	0,16
pied c	30	± 86	130	3,9	3,3	12	46,9	0,14
Q 63 Jardin Botanique de Brno	30	± 86	730	10,2	8,1	13	47,1	2,73
Q 92 Bangladesh	2	16 ± 86	40	0,8	0,7	13	30,5	0,13
Q 63 X Q 92 pied a	10	+ 84	280	8,8	6,1	24	34,2	0,96
pied b	14	+ 84	180	4,1	3,3	16	37,4	0,93
pied c	10	+ 84	300	4,0	3,3	16	41,1	0,51

Tableau 62: Quelques caractéristiques de l'essence des semences mûres (+) ou non (-) de fenouils obtenus après croisement, comparée à celles des pieds parents. La teneur en essence est rapportée à 1000 akènes, 100 g de matière sèche (MS) ou fraîche (MF). La différence entre poids de matière fraîche et poids de matière sèche établi à partir du résidu d'extraction au pentane, donne le pourcentage d'eau ainsi que de lipides passés dans le solvant. Les akènes des parents ont été récoltés en 9-10/1983, ceux des hybrides en 10-11/1984. Les analyses ont eu lieu en 12/1984 et 7/1986.

Les 3 hybrides a, b, et c ont les pourcentages de myrcène + α-phellandrène et de γ-terpinène du parent femelle. La teneur en essence est intermédiaire entre celles des 2 parents, tout comme le rapport α-pinène / limonène + β-phellandrène et les pourcentages d'α- et β-pinène, de limonène + β-phellandrène, de composé sortant à 128°C et d'estragole.

D DISCUSSION ET CONCLUSION

1) Introduction

Au terme de ce travail, il apparaît clairement que le fenouil est une plante très variable, que ce soit par les caractères morphologiques observés en champs, par les dimensions des fruits ou le profil de l'essence.

Avant de traiter du problème de la classification des différents types, nous jugeons utile de discuter des facteurs génétiques pouvant être à l'origine d'une partie de cette variabilité, facteurs que nous avons abordés dans le chapitre III de la partie résultats. L'objectif de notre travail ne visait pas à étudier l'influence des facteurs du milieu sur les caractères morphologiques et chimiques. Néanmoins, nous sommes conscients que le fenouil y est très sensible. Il faudra s'efforcer, dans les études ultérieures, de travailler sur des plantes cultivées dans un même lieu et dans les mêmes conditions. Certains critères de classification ne peuvent être abordés de manière sérieuse que de cette manière. Nous pensons tout particulièrement au nombre de rayons par ombelle et à la taille de la tige principale, qui ont conduit des auteurs à considérer de nouveaux taxons, comme "*Foeniculum piperitum* β . *pluriradiatum*" (BOISSIER, 1872) ou "*Foeniculum giganteum*" (LOJACONO-POJERO, 1908).

La variabilité des caractères du fenouil offre un bon exemple des difficultés rencontrées par le taxonomiste au niveau infraspécifique.

Les premières conclusions sur l'origine du genre et des variétés cultivées, établies dans le chapitre III de la partie bibliographique,

doivent être à nouveau abordées à la lumière de nos résultats expérimentaux.

Nous nous permettons à partir des données en notre possession de proposer des hypothèses sur les voies de biosynthèse et le déterminisme de quelques caractères.

Enfin, nous faisons part de quelques perspectives de sélection suggérées par nos résultats.

2) Facteurs génétiques à l'origine de la variabilité observée

a) Introduction

Une bonne connaissance des facteurs à l'origine de la variabilité du fenouil nous semble souhaitable pour pouvoir interpréter taxonomiquement les caractères différentiels que nous avons mis en évidence. La validité de ces caractères est, par exemple, sérieusement remise en cause par les différences de profil constatées pour le fenouil de Luján de Cuyo. La variabilité s'explique en partie par le degré élevé d'allogamie propre au fenouil, entraînant une hétérozygotie importante ainsi que par les pressions évolutives de l'homme. Nous allons développer ces 2 points.

b) Allogamie

α) Pollinisation par les insectes

Les fleurs des fenouils cultivés à Villeneuve-d'Ascq, dans les terrains d'essais de la Faculté de Lille, ont été butinées par des Diptères et des Hyménoptères. La plupart des insectes signalés jusqu'ici comme pollinisateurs possibles du fenouil appartiennent à l'un de ces 2 ordres. Le Lépidoptère, *Aglais urticae* L. ne semble s'intéresser au nectar du fenouil que de manière occasionnelle.

Nous n'avons pas observé une fréquence importante d'*Apidae* et nous n'en avons capturé qu'une espèce, *Apis mellifica* L. . KNUTH (1908) signale cependant 4 espèces d'*Halictus* au Tyrol. YOUNGHEN (1949) mentionne une intense visite d'*Apis mellifera* L. en Amérique du Nord. Les abeilles peuvent constituer 88.4 % des insectes visitant les fleurs en Inde (NARAYANAN et al., 1960) et 25 à 30 % en France (dans l'Yonne et dans l'Essonne à la station de Méreville) (DESMAREST, 1987, comm. pers.).

D'autres auteurs, tels BASWANA (1984) et RICCIARDELLI D'ALBORE (1986), signalent encore une fréquence importante d'*Apidae*.

D'après KNUTH (1908), Kohl a déterminé 4 espèces de *Chrysididae* et 10 de *Vespidae* au Tyrol, alors que nous n'avons récolté qu'une guêpe, *Vespa vulgaris* L. .

Parmi les Diptères, nous avons surtout rencontré des Syrphidés, en accord avec les observations faites dans l'Yonne et l'Essonne, où cette famille peut représenter la moitié des insectes visitant les fleurs (DESMAREST, 1987, comm. pers.), contre seulement 6.5 % en Inde (NARAYANAN et al., 1960).

Nos résultats et les données bibliographiques permettent de dire que le fenouil est visité par un très grand nombre d'insectes, qui diffèrent selon l'heure de la journée, le mois et le lieu géographique.

Plusieurs des espèces que nous avons rencontrées sur les fleurs du fenouil s'intéressent aussi à celles de l'aneth: *Apis mellifica* L., *Lucilia caesar* L., *Eristalis nemorum* L., *Syritta pipiens* L. . Comme pour le fenouil, on y trouve également des Lépidoptères et des *Formicidae* (KNUTH, 1908).

Les insectes recherchent surtout le nectar mais nous avons constaté que plusieurs Syrphidés s'intéressent en même temps au pollen et sont donc probablement des pollinisateurs. Le pollen déposé sur les stylopoles pourrait à nouveau être transporté par d'autres insectes. On peut aussi envisager, suite à des heurts avec les étamines, un dépôt de pollen sur le corps des insectes, en particulier des plus gros.

Les abeilles interviennent dans la pollinisation car il a été observé une meilleure fécondation de l'ensemble des ombelles, quand on place 2 ruches par hectare dans les cultures (DESMAREST, 1987, comm. pers.). Le miel obtenu intéresse les apiculteurs par sa note doucâtre anisée. Nous n'avons pas trouvé de trans-anéthole dans le nectar, en accord avec des analyses effectuées par les Laboratoires Pernod Ricard dans les années 70 (DESMAREST, 1987, comm. pers.). Il serait intéressant de vérifier l'éventuelle présence de ce composé dans le pollen.

β) Autofécondation et pollinisation croisée

Après avoir visité une fleur, les insectes se dirigent généralement vers la fleur la plus proche présentant du nectar. Comme les fleurs d'une

ombelle sont plus ou moins situées dans un même plan et que les ombelles se trouvent en grande partie au sommet de la plante, on parle de "géitonogamie" ou pollinisation entre fleurs voisines. On note cependant, chez les Umbellifères, une tendance à réaliser une fécondation croisée. Elle est principalement due, chez le fenouil, à une forte protandrie, le style et les stigmates arrivant à maturité après la chute des anthères (SCHULTZ, 1890; AGRAWAL, 1950; BELL, 1971) et à une floraison très échelonnée dans le temps. Les 4 sacs polliniques d'une anthère ne se développent pas en même temps (CARTIER, 1960; GUPTA, 1964) et les 5 étamines d'une fleur se déploient une à une en 4.5 à 8 heures selon la température et le degré hygrométrique ambiant (SUNDARARAJ et al., 1963; CHINGOVA-BOJADZHIEVA, 1969; LOYAL et SHARMA, 1984). La floraison a lieu de manière centripète, de la périphérie vers le centre de l'ombellule et des ombellules périphériques vers le centre de l'ombelle; enfin, on peut distinguer des ombelles de différents ordres, correspondant à des phases d'apparition successives, plus ou moins tranchées.

La durée de floraison d'une ombelle varie de 9 à 15 jours (SUNDARARAJ et al., 1963; HORE, 1979) et il serait intéressant de savoir si elle augmente avec le nombre d'ombellules et de fleurs. Par ailleurs, le pollen est viable de 6 à 10 heures et la fleur est réceptive pendant 4 jours dès que les étamines s'éloignent de son centre (CHAUDHRY, 1961; CHINGOVA-BOJADZHIEVA, 1969). Alors que LOYAL et SHARMA (1981) signalent un stylopoide luisant 19-21 heures après l'anthèse, nous avons constaté que les insectes commencent à butiner les fleurs bien avant. BELL (1971) pense que les grains de pollen viables présents dans le film de nectar entreraient en contact avec les stigmates. Ces données permettent d'envisager une fécondation des fleurs protandres périphériques par le pollen de fleurs plus centrales. Effectivement, CHINGOVA-BOJADZHIEVA (1969) obtient par isolement des fleurs, des ombellules et des ombelles respectivement 0, 25 et 42 % de fruits contre 54 % sans ensachage.

L'absence ou le faible nombre de fruits que nous avons obtenus par isolement d'une ombelle peut s'expliquer par le fait que nous n'avons pas introduit d'insecte dans les sachets, ni assuré une autopollinisation mécanique comme SCARAMUZZI (1951, 1952) et CHAUDHRY (1959). Mais ce dernier auteur obtient 27.5 % de fruits sans faire appel à un facteur pollinisateur. On peut alors envisager les conditions défavorables

entraînées par l'isolement des ombelles. Le vent intervient partiellement dans la pollinisation (SHILOVA, 1972) et son action est limitée sur les ombelles isolées. Ces dernières sont entourées d'une atmosphère moins régulièrement renouvelée pouvant nuire à la fructification. CHAUDHRY (1959) obtient moins de fruits avec des enveloppes en papier sulfurisé qu'avec des sachets en mousseline. Nous avons constaté que l'accumulation de nectar sur les stylopoies favorise le développement des champignons et nous déconseillons l'emploi de sachets en papier dans les zones où la pluviométrie est importante.

Les avis sont partagés quant à l'importance de l'autopollinisation dans les populations de fenouil. L'autopollinisation serait importante pour SUNDARARAJ et al. (1963), dont les essais d'isolement sur une centaine de types de fenouils ont tous été assortis d'une fructification. Elle serait plus ou moins faible pour les autres auteurs. RAMANUJAM et al. (1964) trouvent un taux de pollinisation croisée supérieur à 82 %, après analyse de la descendance de pieds homozygotes récessifs pour un caractère marqueur, cultivés en mélange avec des homozygotes dominants.

L'hypothèse d'une apomixie, reproduction sexuée sans fécondation observable, est rejetée par SCARAMUZZI (1951) et SUNDARARAJ et al. (1963), qui n'obtiennent pas de formation de fruits à partir de fleurs émasculées et ensachées; l'allofécondation est donc mise en évidence par les hybridations.

Les fécondations croisées permettent le maintien d'une hétérozygotie et peuvent expliquer en partie les différences observées pour les 4 pieds du fenouil de Luján de Cuyo, ou pour les écarts de hauteur (jusqu'à 50 cm) et la maturité échelonnée sur 3 semaines de 25 clones issus d'une même lignée maternelle (MENORET, 1985). L'hétérogénéité des hybrides met en évidence l'hétérozygotie marquée des parents. Nos hybrides, comme ceux de CHINGOVA (1969), présentent une teneur et un profil de l'essence des fruits très variables.

c) Variabilité d'origine humaine

- Les cultivars de fenouil bulbeux du commerce sont le résultat d'une sélection massale et parfois, comme dans le cas des Etablissements Clause (d'après PERON, 1981), d'une sélection généalogique. Cette dernière voie a également été utilisée, à côté de la sélection massale, pour l'obtention de

fenouils condimentaires ou à haut rendement en anéthole (JOSHI et al., 1963; KARLSEN et al., 1969; etc...). L'augmentation de la teneur en essence est alors souvent associée à celle du poids et des dimensions des fruits. D'après KARLSEN et al. (1969), les fruits du fenouil doux diminueraient de taille avec la sélection. Cette hypothèse n'est pas corroborée par nos observations. Ainsi, le lot n°78, dont la qualité du profil et la richesse en essence ne peuvent être que le résultat d'une amélioration, a des fruits assez grands, d'environ 8 mm de long.

- En propageant la culture du fenouil, l'homme peut être à l'origine d'une pression de migration. Elle pourrait être un élément explicatif de la forte variabilité observée pour le fenouil de Luján de Cuyo dans la province de Mendoza en Argentine. En effet, GUENTHER parle en 1956 d'une grande abondance de fenouil sauvage dans cette province et de l'introduction d'un fenouil de Saxe. Ce dernier, probablement amer, a pu s'hybrider avec les populations locales. GILDEMEISTER et HOFFMANN signalent d'ailleurs en 1961 un délaissement des cultures de cette région suite à de faibles récoltes.

Des hybridations successives avec des fenouils sauvages riches en estragole pourraient conduire, chez certains fenouils améliorés et cultivés, à une augmentation du pourcentage d'estragole; ce pourrait être le cas du cultivar "Budakalászi" (n°36 et 38). Les hybridations sont encore à craindre pour les échantillons récoltés dans les jardins botaniques.

SCARAMUZZI (1952) a songé à une hybridation du fenouil bulbeux avec des fenouils sauvages proches des cultures. Cet argument semble pouvoir être rejeté. En effet, le lot n°17, d'Italie, et les fenouils sauvages du sud de la France ont souvent un fort taux d'estragole. Leur hybridation avec un fenouil bulbeux devrait conduire à des pourcentages non négligeables et variables de ce composé. Or, l'estragole constitue moins de 3.8 % de l'essence des akènes des 20 lots de fenouil bulbeux analysés (n°94-113).

3) **Systématique des fenouils**

a) Sous-espèce *piperitum*

Les fenouils correspondant aux lots 1-3 se distinguent nettement des autres par leurs caractères morphologiques et par le profil de l'essence des fruits. Ce sont les seuls pour lesquels nous avons détecté les pics A et B et ils présentent en outre un pourcentage élevé de γ -terpinène. Ils se différencient également par leurs segments foliaires glauques, charnus et

souvent très courts. Une autre caractéristique serait la gaine arquée des premières feuilles entraînant un étalement des limbes à la surface du sol. Par leur morphologie, ils correspondent tout à fait à l'iconographie (fig. 2, page 11) proposée par REICHENBACH (1864-1867) pour son "*Foeniculum piperitum* DC." et aux descriptions du "fenouil d'âne", pour lequel nous avons retenu comme dénomination correcte "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *piperitum* (Ucria) Cout."

Les lots 1-3 et les fenouils d'âne décrits dans la littérature ont une aire de répartition géographique incluse dans celle des autres fenouils. Par suite de leurs caractères discriminatifs nets et constants, ils doivent être regroupés dans un taxon à un niveau au moins subsppécifique. Nous ne sommes pas partisan de les considérer comme une espèce séparée, comme l'ont fait plusieurs anciens auteurs. Une espèce à part entière ne pourrait être envisagée que si la reconnaissance sur le terrain ne posait aucune ambiguïté. Les plantules de la sous-espèce *piperitum* nous ont paru aisément distinguables de celles des autres fenouils par leurs feuilles: gaine arquée, segments rigides et glauques. Sur le terrain, le botaniste, qui observe généralement des pieds adultes, ne peut guère se fier que sur le caractère charnu ou non des segments foliaires, ce qui nous paraît insuffisant. Le caractère glauque est question d'appréciation. La taille des segments varie selon la position des feuilles et avec les conditions climatiques. Pour placer les fenouils d'âne dans une espèce propre, il faudrait encore prouver qu'il y a isolement génétique. Parmi les fenouils cultivés dans les terrains d'essais de la Faculté de Lille, les quelques pieds des lots n°1 et 3 ont présenté la montaison la plus tardive (tab. 42, page 151) et n'ont formé des fruits que sur les ombelles primordiales en première année de croissance. Par suite de cette floraison tardive les quelques tentatives d'hybridation n'ont pu être menées à terme avant les gelées; il serait néanmoins intéressant d'étudier la descendance en pollinisation libre des pieds mâles-stériles du lot n°3.

La littérature mentionne pour les fruits de la sous-espèce *piperitum* une saveur amère et désagréable alors que nous leur avons trouvé un goût agréable de citron, probablement dû à une forte teneur en l-limonène. Plusieurs auteurs ont dû confondre la sous-espèce *piperitum* avec des fenouils dont l'essence des fruits renferme beaucoup de fenchone et pas assez de trans-anéthole pour en masquer éventuellement le goût. C'est

probablement à cause de la saveur amère des fruits que les lots n°16 et 28 nous ont été fournis comme appartenant à la sous-espèce *piperitum*. La saveur amère est généralement signalée mais les dimensions des fruits le sont rarement. Ceci nous permet de penser que de nombreux auteurs se sont contentés de recopier les vieilles descriptions et n'ont pas vérifié les caractères organoleptiques des semences.

On devra suspecter une erreur de détermination en l'absence de description précise. Ainsi, il n'est pas certain que CERCEAU-LARRIVAL (1962) ait bien observé la plantule et le pollen de la sous-espèce *piperitum*. De même, l'aire de répartition établie à partir des données bibliographiques (page 50) est probablement inexacte.

b) Sous-espèce *vulgare*

α) Séries 1 et 2

A partir des caractères de l'essence des fruits, les échantillons 6-113 ont pu être divisés (pages 126-130) en 2 séries: les lots 6-28 et 33-79, auxquels on peut adjoindre les n°4 et 5, se différencient des lots 29-32 et 80-113 par une teneur en essence généralement plus élevée et par un rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène supérieur à 0.4.

Il semble que ces 2 séries n'aient pas les mêmes aires de répartition; on ne peut cependant les considérer comme 2 sous-espèces, car les différences chimiques n'apparaissent pas accompagnées de distinctions morphologiques. De plus, certains lots ont une position intermédiaire et le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène varie de 0.07 à 2.99 pour les 33 akènes analysés du fenouil de Luján de Cuyo.

C'est pourquoi nous trouvons préférable de conserver l'habituelle subdivision du fenouil en 2 sous-espèces: les échantillons 4-113 sont inclus dans la sous-espèce *vulgare*, car ils semblent tous posséder des segments foliaires non charnus et généralement allongés, contrairement à la sous-espèce *piperitum*.

β) Variété *vulgare*

A partir du moment où nous acceptons l'existence de plusieurs variétés, la règle d'autonymie nous conduit à définir une variété "*vulgare*". Nous devons y introduire les spécimens décrits sous ce terme, et qui correspondent plutôt aux lots 49-76. On peut y placer les fenouils les plus anciens du

point de vue phylogénétique; on peut considérer le groupe 33-48, car on y trouve le fenouil du Tibesti (n°34), qui serait une endémique de souche méditerranéenne selon QUEZEL (1957, 1958, 1965). Ces fenouils pourraient résulter d'un croisement entre ceux des groupes 6-28 et 49-76. Il nous paraît donc souhaitable d'adjoindre à la variété *vulgare* le groupe 6-28. On remarquera que tous ces lots appartiennent à la série 1 et qu'ils pourraient bien être tous vivaces.

La variété *vulgare* pourrait alors s'opposer à des fenouils généralement annuels ou bisannuels appartenant plutôt à la série 2 et habituellement cultivés. Mais nous manquons de données sur le caractère pérenne ou non des différents lots. Il est probable que les fenouils n°53, 57, 64 et 69, qui nous ont été fournis sous la désignation "dulce", sont en fait vivaces; on remarquera que des pieds appartenant aux lots n°64 et 69 ont survécu à l'hiver 83-84 dans les terrains d'essais de la Faculté.

Le lot n°78 a été placé dans la série 1 de par sa teneur élevée et un rapport α -pinène / limonène + β -phellandréne supérieur à 0.4. Cependant, ce rapport est peu élevé (0.70) et la richesse en essence a été de toute évidence acquise par sélection. Ce fenouil doux peut être introduit dans la série 2.

Des observations supplémentaires permettront de mieux délimiter la variété *vulgare*. Une difficulté réside dans les nombreux profils intermédiaires entre celui du fenouil doux n°78 et ceux des fenouils amers n°70-74 (tab. 35, page 137, et 55, page 179). La dissociation des akènes ne permet pas de distinction: le pourcentage d'akènes est très variable.

γ) Variété *azoricum*

Au sein de la série 2, le groupe 94-113 se distingue nettement par le renflement marqué des gaines des feuilles stériles conduisant à la formation d'un bulbe. Ce renflement se retrouve encore un peu dans le rachis principal du limbe foliaire et ne s'accompagne pas d'une modification de la structure histologique.

Ce groupe ne se rencontre pas à l'état sauvage et est constitué de cultivars. Plutôt que de parler de convariété, nous préférons envisager une variété, en accord avec la nomenclature habituellement admise.

Les fenouils 94-113 possèdent des akènes d'une taille moyenne, une teneur en essence des fruits plutôt faible, avec moins de 4 % d'estragole et un rapport α -pinène/ limonène + β -phellandrène inférieur à 0.4 % . Cependant, nous retenons pour la définition de la variété *azoricum* uniquement la formation d'un bulbe.

δ) Variété *dulce*

A côté de la variété *azoricum*, on peut envisager une troisième variété, où seraient inclus les fenouils asiatiques et les lots 80-85 et 78. On l'appellera "*dulce*", terme qui a priorité sur "*panmorium*" (C.I.N.B., art. 57). On conserve ainsi la nomenclature couramment admise pour la sous-espèce *vulgare*, avec fusion des variétés *dulce* et *panmorium* en accord avec HEGI et al. (1926).

Nous incluons dans cette variété le groupe 29-32. Des travaux ultérieurs devront préciser s'il y a lieu de considérer une variété supplémentaire.

ε) Fenouils à feuillage brun

Leur caractéristique semble se limiter à la coloration brunâtre (un peu rouge-noirâtre) des parties aériennes, leur conférant un aspect ornemental. Tous les fenouils obtenus par croisement entre le pied 15a, au feuillage brun, et les pieds 17a, 69a ou 112a présentent à la première génération une coloration verte des feuilles, laissant penser que le caractère brunâtre serait récessif. Par ailleurs, les fenouils bruns n°15, 58 et 77 diffèrent entre eux par le profil de l'essence des fruits. Pour ces raisons, nous préférons ne pas envisager de nouvelle variété, et nous considérons ces 3 fenouils comme des cultivars au sein de la variété *vulgare*.

Nous avons trouvé des noms très divers dans des catalogues et *Index seminum* postérieurs à 1970: "*F. atrosanguineum*", "*F. vulgare* bronze", "*F. vulgare purpureum*", "*Foeniculum vulgare* "red form" ", "*F. vulgare* roux", "*F. vulgare* var. *rubrum*", etc... L'article 29.5 du Code International de la Nomenclature Botanique (C.I.N.B., 1981) dit qu'"à partir du 1er janv. 1953, la publication d'un nom nouveau dans un catalogue commercial ou dans un journal d'information non scientifique, et à partir du 1er janv. 1973 dans une liste d'échange de graines, ne constitue pas une publication effective". Nous n'avons pas engagé de recherches sur les anciennes désignations. En attendant, il est préférable de respecter

l'article C.15 du Code International de Nomenclature des Plantes Cultivées (C.I.N.P.C., 1954), qui dit que les épithètes de cultivars publiées à partir du 1er janvier 1954 doivent être des noms de fantaisie nettement différents de noms latins. Nous suggérons d'utiliser provisoirement les désignations "*Foeniculum vulgare* cv. Brun" ou "*F. vulgare* "Brun" ", avec, éventuellement, un terme supplémentaire de fantaisie dans le cas d'une amélioration.

c) Chémodèmes

- Nous avons distingué plusieurs groupes de lots en nous basant sur les caractères de l'essence. Ces groupes ne s'accompagnent pas toujours de caractères morphologiques particuliers. On trouve de nombreux noms pour les désigner dans la littérature (NAVES, 1969; TÉTÉNYI, 1970; etc...): "race chimique", "race physiologique", "chémovariété", "variété physiologique", "forme biochimique", "chémo-forme", "type chimique", "chémo" ou "chimiotype", etc... Dans un travail précédent (BADOC, 1986b), nous avons choisi de parler de "chémotypes". Mais les termes "génotypes" et "phénotypes" sont déjà employés avec un sens particulier par les généticiens. Par ailleurs, le Code International de la Nomenclature Botanique (C.I.N.B., 1981, articles 7 à 10) utilise la méthode des "types nomenclaturaux": un type nomenclatural est l'élément, généralement un spécimen d'herbier, auquel le nom d'un taxon est attaché d'une manière permanente. Nous préférons donc nous rallier à l'avis d'HEGNAUER (1986), qui propose un retour à la terminologie des "dèmes".

- Les dèmes sont des ensembles de populations d'un à plusieurs taxons voisins où des gènes peuvent être échangés (AYMONIN, 1973). Par "chémodème" nous entendons un ensemble de populations dont un nombre non négligeable d'individus présentent une ou plusieurs caractéristiques chimiques particulières. Nous proposons de ne pas accorder de rang infraspécifique à ces chémodèmes, sauf s'ils offrent des différences morphologiques, voire des aires de répartition nettement séparées. Ils se superposeraient à la classification habituelle (HEGNAUER, 1986) et faciliteraient les études visant à une meilleure définition des taxons infraspécifiques. Leur dénomination ne nécessiterait pas de suivre les règles du Code International de la Nomenclature Botanique.

- On peut définir ainsi un chémodème "myristicine" pour les lots 4 et 5, qui sont les seuls à présenter en quantité non négligeable des éthers-oxydes fortement oxydés. De même, le groupe 33-48 peut correspondre à un chémodème "intermédiaire", car son profil pourrait théoriquement résulter de croisements entre fenouils des groupes 6-28 et 49-79. On peut aussi proposer des chémodèmes "estragole" et "anéthole" englobant les groupes de lots où l'un de ces 2 composés est largement majoritaire dans l'essence des fruits, etc...

d) Critiques de l'esprit du C.I.N.B.

Nous avons respecté les normes du Code International de la Nomenclature Botanique (C.I.N.B., 1981), mais qu'il nous soit cependant permis de faire les remarques critiques suivantes.

Nous souhaiterions que les noms botaniques soient en rapport avec les caractéristiques marquantes des taxons et qu'on s'efforce de retenir en même temps une classification respectant au mieux la phylogénèse. Ce point de vue va à l'encontre du principe de priorité des publications et de la tendance à généraliser l'autonymie.

Des inconvénients du principe de priorité sont clairement exprimés dans l'article 62.1 du Code International de la Nomenclature Botanique (C.I.N.B., 1981). Il y est dit qu'"une épithète ou un nom légitime ne doivent pas être rejetés parce qu'ils sont mal choisis ou peu harmonieux, parce que d'autres sont mieux connus et leur seraient préférables, ou parce qu'ils ont perdu leur signification première". Ainsi, il n'est pas possible de remplacer le terme "*piperitum*", alors que les fruits des lots 1-3 n'ont rien de poivré. Nous aurions préféré le terme "*rigidum*", proposé par BROTERO en 1804, pour un fenouil qui correspond d'ailleurs mal par ses grands segments foliaires au "fenouil d'âne". Le principe de priorité risque aussi de conduire à retenir, pour le nom d'espèce, un type nomenclatural pouvant mal représenter les caractéristiques marquantes de l'espèce ou ne correspondant pas au taxon infraspécifique le plus ancien du point de vue phylogénétique. Fort heureusement, la sous-espèce *vulgare* caractérise mieux les fenouils que la sous-espèce *piperitum* et rien ne nous empêche d'introduire dans la variété *vulgare* des fenouils sauvages comme ceux renfermant beaucoup d'estragole dans les fruits.

Nous sommes particulièrement hostiles à une généralisation de l'autonymie pour les taxons de rang inférieur à l'espèce. Par autonyme, nous entendons le nom de tout taxon comprenant le type du nom légitime adopté pour le taxon de rang directement supérieur auquel il appartient. La désignation "*Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* var. *vulgare*" renferme 2 autonymes. Le terme "*vulgare*" est, par chance, suffisamment vague et il est heureux qu'on n'ait pas à parler d'une sous-espèce "*dulce*" dans laquelle serait inclus des fenouils aux fruits amers.

Le principe de priorité et la règle d'autonymie ne nous permettent pas d'opposer à une sous-espèce "*rigidum*" une sous-espèce "*capillaceum*", pour bien marquer la différence des segments foliaires, ou encore d'éviter l'appellation "*azoricum*" pour les fenouils bulbeux, qui n'ont apparemment rien à voir avec les Açores.

e) Genre monospécifique

Nos recherches bibliographiques nous ont permis d'écarter un grand nombre d'espèces rattachées au genre *Foeniculum*. Mais elles ne nous ont pas permis de nous prononcer pour *Foeniculum scoparium* Quézel et 2 espèces intermédiaires entre le fenouil et l'aneth: *Anethum foeniculoides* Maire et Wilczek et *A. Theurkauffii* Maire.

Par l'essence de ses fruits, le fenouil du Tibesti a été placé dans le groupe de lots 33-48. Nous n'avons pas, par ailleurs, observé de stries saillantes entre les côtes primaires des quelques fruits qui nous ont été fournis. *Foeniculum scoparium* doit donc être considéré comme appartenant à *Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* var. *vulgare*.

L'essence des fruits d'*Anethum foeniculoides* Maire et Wilczek n'est pas fondamentalement éloignée de celle des fenouils, mais le dillapiole est le principal constituant (BADOC, 1986b) et nous ne l'avons pas détecté pour le fenouil. L'autre espèce d'aneth n'a pu être analysée, mais est douteuse.

Le genre *Foeniculum* est donc vraisemblablement monospécifique, le "fenouil d'âne" étant inclus dans *Foeniculum vulgare* Mill. . L'aneth, *Anethum graveolens* L., ne peut être considéré comme un fenouil, car il présente trop de caractères différents: racine moins développée, caractère annuel constant, cotylédons plus courts, feuilles stériles décussées, tige souvent striée de manière plus marquée, côtes marginales des fruits ailées, fruits riches en carvone, période de végétation beaucoup plus courte, etc...

4) Origine des fenouils

D'après les échantillons que nous avons réunis, la répartition des fenouils sauvages et subspontanés dépasse largement la région méditerranéenne. L'aire d'origine pourrait correspondre non seulement à cette région, mais aussi à la côte nord-ouest africaine et au Portugal: en effet, les 3 échantillons marocains que nous avons analysés appartiennent chacun à un groupe de lots différent. Aux Canaries, on trouve à la fois les sous-espèces *vulgare* (lots n°67 et 68) et *piperitum* (spécimen d'herbier récolté par PITARD à Gran-Canaria). Les 2 échantillons du chémodème myristicine proviennent du Portugal et du Maroc.

L'aire d'origine pourrait aussi comprendre des régions de latitude plus élevée: les fenouils dont les fruits sont très riches en estragole ont probablement été peu propagés par l'homme. Il est intéressant de constater qu'ils se rencontrent non seulement dans le sud de la France mais aussi en Bretagne et en Belgique (n°7-9, 13). Leur dissémination pourrait se faire le long des côtes et des cours d'eau, où les conditions climatiques seraient plus satisfaisantes.

Les variétés actuellement cultivées proviennent de la sous-espèce *vulgare*. Les populations de départ correspondaient probablement aux fenouils sauvages actuels: chémodème myristicine, fenouils dont l'essence des fruits est riche en estragole (groupes 6-28 et 33-48), d'autant que le fenouil du Tibesti (n°34) pourrait être de souche méditerranéenne. Il n'est pas certain que des populations appartenant au chémodème anéthole aient été présentes: les lots 67, 68, 76 ou 79 peuvent très bien correspondre à des fenouils échappés des cultures.

Il est possible que la présence d'anéthole ou d'estragole ait une valeur adaptative. Un caractère adaptatif de la variabilité de l'essence a, en effet, été observé chez le thym (VERNET et GOUYON, 1979; GOUYON et al., 1986), mais la comparaison avec les fenouils est limitée, en raison des différences de famille, de biologie florale et d'identité des composés volatils.

A partir des populations naturelles, l'homme a pu retenir les pieds dont les fruits et les feuilles avaient un goût le plus anisé possible et rejeter ceux qui étaient les plus amers. Il a pu ainsi éliminer les profils les plus riches en α -pinène et fenchone, et les plus pauvres en trans-anéthole. A notre avis, une telle sélection conduit plutôt vers des

fenouils de la série 2, dont le rapport α -pinène / limonène + β -phellandrène est faible.

De tels fenouils ont pu être obtenus par les anciens Egyptiens et les Perses, et se sont répandus très tôt dans tout l'Orient. Ils ont probablement été introduits en Grèce, puis en Italie, où, au 16^{ème} siècle, on en aurait tiré la variété *azoricum*. Cette variété semble ne rien à voir avec les îles Açores. En effet, le lot n°52, de l'île de Flores, bien que non mûr, appartient sans conteste à la série 1.

Le groupe 29-32 appartient à la série 2, mais possède, curieusement, beaucoup d'estragole. Les faibles pourcentages d' α -pinène et de fenchone permettent la commercialisation de ces fenouils. Nous préférons ne pas nous prononcer sur leur origine, car nous manquons d'indication sur leur lieu de culture.

Les cultivars de fenouil amer seraient d'obtention plus récente. Leur sélection a probablement été favorisée par le développement de l'usage des essences aromatiques en Europe à partir du 15^{ème} siècle. La recherche d'un meilleur rendement a conduit à préférer la culture des fenouils amers plutôt que doux.

5) Déterminisme génétique et voies de biosynthèse

a) Introduction

Nous avons tenté de tirer de l'ensemble de nos résultats des hypothèses sur le déterminisme de quelques caractères et sur les voies de biosynthèse. Il nous est, en particulier, paru utile de traiter des principaux constituants de l'essence des fruits. Nous reconnaissons que nos interprétations sont limitées.

Pour avoir une idée du génotype des parents hybrides, il aurait fallu étudier un grand nombre d'hybrides sur au moins 2 générations. On peut, par ailleurs, se demander s'il est possible d'utiliser les résultats de l'étude de la descendance d'un hétérozygote pour l'établissement d'une carte génique du fenouil. La présence de 2 constriction sur certains chromosomes suggère des remaniements chromosomiques et le nombre de paires de chromosomes avec 0, 1 ou 2 constriction varie d'un échantillon de fenouil à l'autre (SHARMA et BHATTACHARYYA, 1959; HORE, 1976). De plus, la longueur des chromosomes paraît extrêmement variable (HORE, 1976). Elle dépend de la technique de coloration utilisée et semble importante pour les fenouils

bulbeux (BERNARD, 1987). L'aneusomatisme est fréquent chez le fenouil (BERNARD, 1987; DESMAREST et al., 1988) et a probablement peu d'effet sur le phénotype.

Notre méthode analytique ne nous a pas permis de séparer le myrcène de l' α -phellandrène et le β -phellandrène du limonène. Nous ne connaissons pas, de plus, les proportions des éventuelles formes lévogyres et dextrogyres.

Les lots que nous avons analysés ont été cultivés dans des conditions différentes et il convient d'être prudent dans l'analyse des pourcentages des constituants.

b) Caractères des fruits

L'absence presque totale d'akènes dans les semences mûres des clones 1000-1012 de fenouil doux laisse prévoir un déterminisme génétique de la séparation des diakènes.

Il pourrait en être de même pour les dimensions des fruits. En effet, les clones C et L issus du cultivar "C 22" diffèrent nettement entre eux par la largeur des akènes. Nous avons cependant trouvé une relation significative entre la largeur, la longueur et l'épaisseur des akènes de 101 lots. Il faudrait donc interpréter les résultats des corrélations linéaires avec beaucoup de précautions.

c) Liaison entre caractères morphologiques et chimiques

Le caractère "brun" pourrait être lié à un fort taux de fenchone. Celle-ci atteint en effet 33.5 % pour le lot n°41 et 49.1 % pour le n°77 mais le n°15 n'en présente que 15.4 % .

Une corrélation positive a été observée entre la teneur en essence des akènes et leur poids ou leur longueur. Cependant, le groupe 29-32 et les fenouils d'Asie orientale ont des fruits de grande taille, lourds mais renfermant peu d'essence, comparés aux lots 6-28, dont les akènes sont de plus petite taille et souvent plus riches en essence.

Les pourcentages des divers constituants de l'essence ne semblent pas en relation avec les dimensions et le poids des akènes. Néanmoins, il semble que l'amélioration de certains fenouils se soit accompagnée d'une augmentation de la taille des fruits conjointement à une plus grande richesse en anéthole et à une diminution du pourcentage de fenchone.

d) α -pinène

L' α - et le β -pinène existent chacun sous 2 formes énantiomères. L' α -pinène des fruits du fenouil serait dextrogyre (TARDY, 1902b; VLAHOV et al., 1964). Il constitue de 0.0 à 17.8 % de l'essence des fruits des différents lots que nous avons analysés. Le croisement entre le parent femelle 15a riche en α -pinène et le parent mâle 112a pauvre en ce composé, donne aussi bien un pied b riche qu'un pied c pauvre en α -pinène. Le déterminisme pourrait être complexe.

Les coefficients de corrélation linéaire trouvés entre les pourcentages d' α et β -pinène sont élevés, mais il faut se garder de faire des interprétations trop hâtives: LAMARTI (1987) a montré, en effet, que ces 2 terpènes ont une évolution journalière inverse et que seul le β -pinène se rencontre dans l'essence de la racine principale et de l'hypocotyle de la plantule du cultivar "C 25".

e) Fenchone

La biosynthèse de la fenchone chez le fenouil met en jeu 2 enzymes (CROTEAU et FELTON, 1980; CROTEAU et al., 1980a,b; CROTEAU et al., 1984): une fenchol synthétase qui donne directement du l-endo-fenchol à partir de nérylpyrophosphate, ou mieux de géranylpyrophosphate et une l-endo-fencholdeshydrogénase qui conduit à la formation de d-fenchone.

Le déterminisme génétique pourrait être complexe: nous avons trouvé un pourcentage très variable de ce composé, allant de 0.2 à 49.1 % .

f) Anéthole et estragole

La biogenèse de l'anéthole a été étudiée chez le fenouil (KANEKO, 1960a,b, 1961, 1962) et l'anis vert, *Pimpinella anisum* L. (MANITTO et al., 1974). Il ne fait aucun doute que ce composé provient de la phénylalanine, via l'acide p-coumarique, sans réarrangement de la chaîne latérale. Pour CANONICA et al. (1971), l'estragole est aussi issu de la phénylalanine chez *Ocimum Basilicum* L. cv. "Genovese", mais il y aurait perte du carbone terminal de la chaîne latérale. Mais, pour le même cultivar "Genovese" de basilic, KLISCHIES et al. (1975) démontrent, contrairement à CANONICA et al. (1971), l'absence de perte du groupement carboxylique lors de la formation d'eugénol via l'acide férulique. On ne peut donc assurer que les voies de biosynthèse de l'estragole et de l'anéthole sont différentes. La

biogenèse de l'estragole mériterait d'être étudiée à partir de fenouils dont l'essence des akènes ne renferme pratiquement pas de trans-anéthole, comme les lots n°16, 17, et 28.

Le trans-anéthole peut atteindre 85.9 % et l'estragole 80.9 % . Ces 2 composés peuvent ne pas être détectés. Leur rapport est très variable, à la fois pour les divers lots et pour les akènes du fenouil de Luján de Cuyo. Ces données ne sont pas en faveur d'un déterminisme génétique simple.

g) Composés d'oxydation

L'anisaldéhyde, le composé sortant à 189°C et celui sortant à 197°C (qui serait de l'anisacétone) se forment de toute évidence pendant le stockage des fruits, puisqu'on en trouve généralement beaucoup pour les plus vieux lots comme les n°34, 49, 76, 83, 91 et 93. Ce sont des composés d'oxydation du trans-anéthole. Nos résultats ne permettent pas de dire si l'estragole est aussi concerné: les composés d'oxydation trouvés pour les lots n°6 et 11 peuvent aussi bien provenir de l'estragole que des 9.9 et 20.6 % de trans-anéthole.

Le lot n°5 présente 10.0 % d'un constituant qui pourrait être de l'anisaldéhyde, mais qui n'est pas accompagné du composé sortant à 189°C et de l'anisacétone. D'autre part, il ne reste plus que 0.4 % de phénylpropènes peu oxydés après seulement un an de stockage des semences et il nous semble exclu que l'anisaldéhyde, absent pour le lot n°4, provienne de la myristicine, composé déjà très oxydé. Des analyses ultérieures devront préciser s'il s'agit bien d'anisaldéhyde et si le lot n°5 doit faire partie du chémotype myristicine ou être traité séparément. On pourra vérifier, par une analyse de l'essence akène par akène, si ce composé accompagne toujours la myristicine.

L'oxydation ne touche qu'un certain nombre d'akènes du fenouil de Luján de Cuyo. Un mésocarpe plus épais autour des bandelettes pourrait retarder l'oxydation de l'essence. Il serait intéressant de répéter une telle analyse après plusieurs années de stockage pour vérifier s'il n'existe pas des akènes particulièrement résistants à l'oxydation.

La plus grande fréquence de composés oxydés chez les fenouils bulbeux par rapport aux lots 6-28 pourrait être due au mode de récolte des fruits.

Le p-cymène représente 2.4-2.7-2.8 % de l'essence des fruits de la sous-espèce *piperitum*, et est un constituant mineur habituel de celle des

semences de la sous-espèce *vulgare*. Il atteint exceptionnellement 4.5 % pour le lot n°6, ce qui pourrait être en rapport avec le manque de maturité des fruits au moment de la récolte et le stockage de 4 ans. Le p-cymène est un produit d'oxydation, comme ceux du trans-anéthole, avec lesquels il est souvent en étroite corrélation. On remarquera cependant que l'essence des akènes du pied mâle 92a ne renferme que des traces de p-cymène à côté de 21.1 % d'anisacétone et 9.3 % d'anisaldéhyde. Les akènes n°24 et 25 du fenouil de Luján de Cuyo possèdent non seulement les pourcentages les plus élevés de ces composés, mais aussi les plus faibles de myrcène + α -phellandrène. Ces derniers pourraient être des précurseurs du p-cymène. Il en serait de même, d'après la littérature, pour le γ -terpinène (voir LAMARTI, 1987) mais nos coefficients de corrélation linéaire ne le confirment pas.

6) Améliorations envisageables à partir de la variabilité naturelle

a) Introduction

Des caractères intéressants issus de la variabilité naturelle ont déjà été sélectionnés, comme le renflement des gaines des feuilles stériles à l'origine du fenouil bulbeux ou la richesse en anéthole en vue de l'extraction de ce composé pour la fabrication des boissons anisées. La variabilité du fenouil s'avérant importante, on peut se demander dans quelle mesure il est possible d'en tirer encore profit.

La variabilité intrapopulationnelle est actuellement la plus exploitée en France; les cultivars récents proviennent d'un nombre limité de populations de départ. On peut aussi partir de nouvelles populations, quand elles présentent des caractères inhabituels, comme la coloration brunâtre du feuillage, ou quand leurs caractéristiques moyennes sont intéressantes.

Les caractères à retenir dépendent du type d'utilisation envisagé. Le fenouil est, en effet, à la fois une plante ornementale, légumière, condimentaire, industrielle et médicinale.

b) Recherche de meilleurs caractères agronomiques

Divers caractères peuvent être améliorés: résistance aux maladies, en particulier à la phomopsidiose (DU MANOIR, 1980; DU MANOIR et VEGH, 1981), croissance adaptée à une région donnée, maturité groupée, taille standard pour faciliter la récolte en moissonneuse-batteuse des parties aériennes

des fenouils à essence, tige principale plus petite pour une meilleure résistance à la verse dans les régions venteuses, rameaux suffisamment rigides pour éviter que les fruits ne touchent le sol de par leur poids, fruits non dissociables afin d'éviter les pertes lors de la récolte si on choisit de commercialiser des semences mûres, etc....

c) Fenouils ornementaux

Le feuillage brunâtre est d'autant plus ornemental qu'il est dense et que la montaison est tardive. Il serait intéressant de combiner l'aspect ornemental et la possibilité de récolter des feuilles et des fruits de bonne qualité culinaire; on pourrait même envisager l'obtention de bulbes teintés de brun.

d) Fenouils bulbeux

Nous avons vu qu'il est possible d'additionner, par hybridation, le caractère bulbeux et une grande richesse des fruits en estragole. Or, quand ce composé est présent en plus grande quantité que le trans-anéthole dans les fruits, il semble qu'il en soit de même pour les feuilles. On doit donc pouvoir obtenir un légume possédant le goût particulier de l'estragole.

La diminution de la teneur en anéthole des bulbes est souhaitable: le goût anisé n'est, en effet, bien supporté que dans les pays méditerranéens et on conseille même, pour le diminuer, de blanchir le légume et de jeter l'eau chargée de composés aromatiques.

D'autre part, il n'est pas impensable de pouvoir un jour disposer de bulbes renfermant principalement des terpènes, comme le d-limonène, qui rappelle le citron, fruit dont le jus est souvent utilisé lors de la cuisson du fenouil.

Pour éviter la variabilité de taille des bulbes, l'idéal serait d'obtenir à l'état homozygote une grande partie des gènes responsables du renflement des gaines (SCARAMUZZI, 1952).

e) Fenouils condimentaires

Il importe que le profil de l'essence de fruits condimentaires soit de bonne qualité. S'ils doivent être utilisés entiers, comme par exemple en Inde, où on les mâche fréquemment comme apéritif, il faut se demander si des fruits gros, peu divisés et riches en essence ne risquent pas d'avoir

un goût trop fort; ce problème ne se pose plus s'ils sont moulus. On peut espérer la commercialisation, à l'avenir, de fruits condimentaires de meilleure qualité que ceux que nous avons analysés. La prise en compte des caractères organoleptiques et du degré de toxicité des divers constituants est à souhaiter.

Le cis-anéthole présente une toxicité plus importante que celle de l'isomère trans (BOISSIER et al., 1967; LE BOURHIS, 1973), mais nous n'en avons jamais trouvé plus de 0.5 % dans l'essence des fruits. D'après RAVID et al. (1983), l'addition de traces de ce composé ne modifie pas l'arôme.

La fenchone qui pourrait, par son amertume, avoir des propriétés apéritives, nous semble gênante à forte dose, d'autant qu'il s'agit d'un composé toxique. L' α -pinène ne paraît pas posséder une saveur et une odeur agréables. On cherchera à diminuer les pourcentages de ces composés. Une telle amélioration est tout à fait envisageable, puisque l'essence des akènes des lots n°78, 85 et 104 possède moins de 2.5 % d' α -pinène et de 4.8 % de fenchone.

Le pourcentage de trans-anéthole des fruits peut baisser après la récolte suite à une oxydation. Cette dernière donne des produits pouvant nuire à la qualité de l'essence. Ainsi, l'anéthole, soumis pendant 2 ans à l'action de l'air et de la lumière, acquiert une saveur amère (SCHIMMEL et C^{ie}, 1904). L'anisacétone, qui correspond à notre avis au pic d'oxydation le plus important, rappellerait l'essence d'amande amère (GUENTHER, 1950), alors que l'addition d'anisaldéhyde ne modifie pas l'arôme selon RAVID et al. (1983). La saveur de notre témoin anisaldéhyde, pur à 99 %, ne nous a pas paru agréable.

Nous jugeons utile de proposer les normes suivantes, qui devraient éviter bon nombre d'abus.

- Le consommateur est en droit d'attendre sous la dénomination "fenouil" un produit de goût anisé. La mention "fenouil riche en estragole" devrait être indiquée chaque fois que les fruits condimentaires renferment beaucoup plus de ce composé que de trans-anéthole (lots 29, 31 et 32). L'estragole est le principal constituant de l'essence des feuilles d'estragon (*Artemisia dracunculus* L.), condiment apprécié. On récolte traditionnellement dans le midi de la France, sur des pieds de fenouil sauvage des feuilles et des fruits qui ont toutes les chances, vu nos observations, d'être riches en ce composé.

- C'est un minimum de demander une essence renfermant moins de 20 % de fenchone et moins de 20 % de composés d'oxydation du trans-anéthole. Dans le cas des fenouils riches en estragole, ces composés devraient se rencontrer en faible quantité, à moins que le trans-anéthole ne puisse masquer leur odeur et leur saveur. Les dates limites d'utilisation devraient, de plus, tenir compte de la plus ou moins grande facilité des fruits à s'oxyder dans le récipient prévu pour la commercialisation.

- Enfin, le consommateur devrait être averti quand la teneur en essence des fruits n'excède pas 2 g par 100 g de matière sèche, comme c'est le cas pour les lots 32, 82, 83, 84 et pour un grand nombre de fenouils bulbeux et d'Asie orientale.

f) Obtention industrielle d'essence

- Pour les fenouils cultivés en vue d'une utilisation industrielle de l'arôme anisé, le profil de l'essence des fruits importe moins que le rendement de trans-anéthole, lui même fonction du poids de fruits récoltés et de leur richesse en ce composé.

Les fruits mûrs les plus riches en essence correspondent aux derniers cultivars français de fenouil amer issus de sélection récurrente (lots n°73 et 74). Parmi les lots riches en trans-anéthole que nous avons étudiés, certains présentent une teneur en essence relativement élevée et pourraient fournir des individus prometteurs. Ainsi, la teneur en essence des akènes des lots 50-51, 58, 59 ou 69 est supérieure, quel que soit son mode d'expression, à celle trouvée pour le cultivar "C 22".

Nous pensons qu'il est possible d'obtenir conjointement à un bon rendement en anéthole un profil de meilleure qualité, avec par exemple des pourcentages de fenchone moins élevés que ceux observés pour les lots 72-74. Il se pourrait qu'une simple estimation de la teneur en anéthole ne suffise pas pour éliminer les individus riches en estragole d'un cultivar comme le "C 25". LAMARTI (1987) a pu, en effet, isoler à partir de ce cultivar un clone dont l'essence des explantats renferme une quantité égale de ces 2 phénylpropènes.

Un programme d'hybridations devrait permettre l'obtention de fenouils qui soient non seulement vivaces et à fort rendement, mais produisent aussi une essence des fruits moins riche en α -pinène et fenchone. Les nombreux

profils intermédiaires entre ceux que l'on attribue généralement aux fenouils "amer" et "doux" pourraient alors être mis à profit.

- Il serait intéressant d'engager une étude de rendement des fenouils dont l'essence des fruits est riche en myristicine, composé qui peut être utilisé pour la fabrication d'insecticides (LICHTENSTEIN et CASIDA, 1963; LICHTENSTEIN et al., 1974).

E BIBLIOGRAPHIE

ABDALLAH (N.), EL-GENGAIHI (S.) and SEDRAK (E.), 1978.- The Effect of Fertilizer Treatments on Yield of Seed and Volatile Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Pharmazie*, 33(9): 607-608.

ABDEL-AL (Z.E.), KHALF-ALLAH (A.M.) and ABOU EL-FADL (I.A.), 1973.- Effects of spacing and nitrogen fertilizer on seed yield and volatile oil content in fennel (*Foeniculum vulgare*, M.). *Alex. J. agric. Res.*, 21(2): 269-276.

ABOU-ZIED (E.N.), 1974.- Increase in Volatile Oil and Chemical Composition in the Seeds of Caraway and Fennel Plants Induced by Succinic Acid 2,2-Dimethylhydrazide. *Biol. Plant.*, 16(2): 123-126.

ADHIKARI (V.M.), 1965.- Zur Chemotaxonomie von *Anethum graveolens* L. . *Dissertation Univ. Saarbrücken*. 81 pages, 95 références.

AGRAWAL (J.S.), 1950.- Studies in Umbelliferae.I. *Foeniculum Vulgare*, Mill. . *Proc. 37th Indian Sci. Congr. (Poona)*, Abstract n°20: 46-47.

AHMED (S.S.) and EID (M.N.A.), 1975.- Effect of Gibberellic Acid and Cycogel on Yield of Seeds and Essential Oil of Some Umbelliferous Plants. *Egypt. J. Hortic.*, 2(2): 227-232.

AKAČIĆ (B.) i ROGINA (A.), 1953.- *Fructus Foeniculi macedonici*. 1. saopćenje. *Acta Pharm. Jugosl.*, 3: 62-69.

AKGÜL (A.), 1986.- Studies on the essential oils from Turkish fennel seeds (*Foeniculum vulgare* M. var. *dulce*). *Prog. Essent. Oil Res., Proc. Int. Symp. Essent. Oils, 1985*. Walter de Gruyter & Co., Berlin New York: 487-489.

ALBERT (C.), 1920.- Le Fenouil de Florence: il Fenocchio. *Rev. hortic. (Paris)*, 17(12): 220.

ALBERT-PUELO (M.), 1980.- Fennel and anise as estrogenic agents. *J. Ethnopharmacol.*, 2(4): 337-344.

ALEFELD (F.), 1966 (reprint de l'édition de 1866).- *Foeniculum*, Adanson. Fenchel. In: *Landwirtschaftliche Flora von Friedrich Alefeld*. Koeltz (O.) ed., Königstein Taunus: 155-156.

ANDRE (J.), 1985.- In: *Les noms de plantes dans la Rome antique*. Société d'édition «les belles lettres», Paris: 103, 154.

ARCANGELI (G.), 1894 (2^{ème} ed., 1^{ère} en 1882).- *Apiaceae*. In: *Compendio della Flora Italiana ossia Manuale per la determinazione delle piante che trovansi selvatiche od inselvatiche nell'Italia e nelle isole adiacenti*. Loescher (E.) ed., Torino Roma: 580-620.

ASHRAF (M.), AZIZ (J.) and BHATTY (M.K.), 1975.- Studies on the essential oils of the Pakistan species of the family *Umbelliferae* Part II. *Foeniculum vulgare* Miller (Fennel) Seed Oil. *Pak. J. sci. ind. Res.*, 18(5): 236-240.

AYMONIN (G.G.), 1973.- Diversification et polymorphisme infraspécifique. In: *La Grande Encyclopédie*. Librairie Larousse. 8: 4537.

BADOC (A.), 1982.- Contribution à l'étude des phénomènes d'organogenèse et de callogenèse de tissus de Fenouil vulgaire (*Foeniculum vulgare* subsp. *capillaceum* var. *vulgare* (Mill.) Thellung), cultivés *in vitro*, analyse des constituants de l'huile essentielle des explants. *D.E.A. Univ. Lille*. 74 pages.

BADOC (A.), 1986a.- Position systématique du genre *Anethum* dans la classification des *Apiaceae*. *Thèse Pharmacie Univ. Nancy*. 59 pages, 129 références.

BADOC (A.), 1986b.- Contribution à l'étude du genre *Anethum* L. . *D.S.R. Univ. Lille Flandres Artois*. 104 pages, 233 références.

BAILLY (A.) et EGGER (E.), 1968 (28^{ème} ed. revue par Séchan (L.) et Chantraine (P.), 1^{ère} ed. en 1894).- In: *Dictionnaire grec français*. Librairie Hachette, Paris: 1225-1226.

BALL (P.W.), 1968.- *Seseli*. In: Tutin (T.G.) and al., *Flora Europaea*. University Press, Cambridge, 2: 334-338.

BASWANA (K.S.), 1984.- Role of insect pollinators on seed production in coriander and fennel. *South Indian Hortic.*, 32(2): 117-118. D'après *Apic. Abstr.*

BATTANDIER (J.A.), 1889-1890.- *Foeniculum* L. (Fenouil). In: Dicotylédones. In: Battandier (J.A.) et Trabut (L.), *Flore de l'Algérie contenant la description de toutes les plantes signalées jusqu'à ce jour comme spontanées en Algérie et catalogue des plantes du Maroc*. Jourdan (A.) ed., Alger Paris: 1(2): 362; appendice 2: XII.

BATTANDIER (J.A.) et TRABUT (L.), 1902.- *Foeniculum* L. . In: *Flore Analytique et Synoptique de l'Algérie et de la Tunisie*. Giralt (Y.) ed., Alger: 147.

- BAUER (K.H.), 1942.- Erfahrungen mit dem einheimischen Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen. III. Fenchel. *Pharm. Zentralhalle*, 83(46): 541-544.
- BAUHIN (G.), 1623.- *Foeniculum*. In: *Pinae Theatri Botanici Caspari Bauhini* (...). Ed. du roi Ludovic, Bâle: 147.
- BAUHIN (J.), CHERLERO (J.H.) et CHABRAEUS (D.), 1651.- *Umbelliferae*. In: *Historiae Plantarum Universalis*. 3: liber XXVII.
- BECKER (J.), 1938.- In: *Handbuch des gesamten Pflanzen Baues*. Parey (P.) ed., Berlin.
- BECKER (T.E.), ISLER (E.J.) and GOODRICH (F.J.), 1940.- Cultivation of Fennel in Washington. *J. Am. pharm. Assoc.*, 29: 499.
- BELL (C.R.), 1971.- Breeding systems and floral biology of the *Umbelliferae* or Evidence for specialization in unspecialized flowers. In: *The Biology and Chemistry of the Umbelliferae*. Heywood (V.H.) ed., Academic Press, London: 93-107.
- BENTHAM (G.), 1867.- *Umbelliferae*. In: Bentham (G.) et Hooker (J.D.), *Genera Plantarum ad exemplaria imprimis in herbariis Kewensibus servata definita*. Taylor (J.E.) and Soc. ed., London. 1: 859-931, 1008-1009.
- BERGER (F.), 1952.- *Fructus Foeniculi*. In: *Handbuch der Drogenkunde*. Verlag für med. Wissenschaften, Wien. 3: 264-275 et suivantes.
- BERNARD (C.), 1987.- Contributions pluridisciplinaires à la systématique du fenouil *Foeniculum vulgare* ssp. *capillaceum*. D.E.A. Univ. Orsay - Paris XI. 201 pages, 120 références.
- BERNEAUD (T. de), 1835.- Fenouil. In: Guérin (F.E.), *Dictionnaire pittoresque d'Histoire Naturelle et des phénomènes de la Nature*. Imprimerie de Cosson, Paris. 3: 181-182.
- BETTS (T.J.), 1968a.- Anethole and fenchone in the developing fruits of *Foeniculum vulgare* Mill. . *J. Pharm. Pharmacol.*, 20: 469-472.
- BETTS (T.J.), 1968b.- Examination of fennel fruits by gas chromatography without preliminary distillation. *J. Pharm. Pharmacol.*, 20: suppl. 61-64.
- BETTS (T.J.), 1976.- Possible New Western Australian Fennel Chemovar. *Aust. J. Pharm. Sci.*, 5(3): 78.
- BLATTER (E.), 1919.- *Umbelliferae*. In: *Records of the Botanical survey of India Vol VIII.-No I Flora arabica. Part I*. Superintendent Government Printing, Calcutta: 211-218.
- BOIS (D.), 1927.- In: *Les plantes alimentaires chez tous les peuples et à travers les âges*. «Encyclopédie biologique», Lechevalier (P.) ed., Paris. 1: 245-246, 3: 165.

BOISSIER (E.), 1872.- *Umbelliferae*. In: *Flora Orientalis sive enumeratio plantarum in Oriente a Graecia et Aegypto ad Indiae fines hucusque observatarum*. Georg (H.) ed., Genève Bâle. 2: 819-1090.

BOISSIER (J.R.), SIMON (P.) et LE BOURHIS (.), 1967.- Action psychotrope expérimentale des anétholes isomères cis et trans. *Thérapie*, 22: 309-323.

BOMARE (V.), 1800.- In: *Dictionnaire de Bomare*. Bruyset Ainé et Cie ed., Lyon. 5: 292-293.

BONNIER (G.), 1920.- Genre 286: *Anethum Aneth*. In: *Flore complète illustrée en couleurs de France, Suisse et Belgique*. Delachaux et Niestlé S.A. ed., Neuchatel; Orhac (E.) ed., Paris; Lebegue (J.) et Cie, Bruxelles. 4: 90-91, planche 216.

BORG (J.), 1976 (1^{re} ed. en 1927).- In: *Descriptive Flora of the Maltese Islands*. Koeltz (O.) ed., Koenigstein: 417-418.

BRAMWELL (D.) and BRAMWELL (Z.I.), 1974.- *Seseli webbiai* Cosson. In: *Wild Flowers of the Canary Islands*. Thornes (S.) Ltd ed., London Burford: 23, 168-169.

BRIQUET (J.), 1914.- Carpologie comparée et affinités des genres d'Ombellifères *Microsciadium* & *Ridolfia*. *Rev. gén. Bot.*, 25: 61-82.

BRIQUET (J.) et LITARDIERE (R. de), 1938.- *Foeniculum* Mill. . In: *Prodrome de la Flore de Corse*. Lechevalier (P.) ed., Paris. 3(1): 122-124.

BROCKHAUS (F.A.), 1968.- Fenchel. In: *Enzyklopädie*. Wiesbaden. 6: 138-139.

BROTERO (F. de A.), 1804.- *varietas Foen.-rigidum*. In: *Flora Lusitânica, seu plantarum, quae in Lusitania vel sponte crescunt, vel frequentius coluntur, ex florum praesertim sexibus systematice distributarum, synopsis*. Ed. du roi, Lisbonne. 1: 466.

BROTERO (F. de A.), 1827.- *Selinum peucedanoides*. In: *Phytographia Lusitaniae selectior, seu novarum, rariorum, et aliarum minus cognitarum stirpium, quae in Lusitania sponte veniunt, ejusdemque florum spectant, descriptiones iconibus illustratae*. Ed. du roi, Lisbonne. 2: 196-197, 260, et planche 167. (La description d'*Athamanta Turbith*, pages 200-201, 260-261 et planches 169 et 170, correspond en grande partie à celle de *Seseli tortuosum* L.)

BRUCH (H.), 1956.- Beiträge zur Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Fenchelwurzel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Beitr. Biol. Pflanz.*, 32(1): 1-26.

BUKALA (M.), ARCT (J.), DUL (M.) et PASTERNAK (A.), 1968.- Badania składu olejków eterycznych - podstawowych surowców dla otrzymywania składników preparatów leczniczych pochodzenia naturalnego I. Olejek koprowy. [Etude de la composition des huiles essentielles, matières premières de base dans la préparation des constituants des médicaments d'origine naturelle. (traduit du polonais). *Farm. Pol.*, 24(9): 689-694.

BURCHFIELD (H.P.) and STORRS (E.E.), 1962.- In: *Biochemical Applications of Gas Chromatography*. Academic Press. New York London, 679 pages.

BURNAT (E.), 1906.- *Foeniculum*. In: Flore des Alpes maritimes ou catalogue raisonné des plantes qui croissent spontanément dans la chaîne des Alpes maritimes y compris le département français de ce nom et une partie de la Ligurie occidentale. Georg & Cie ed., Genève Bâle Lyon. 4: 179-181.

CALCANDI (V.), CIROPOL-CALCANDI (I.) und GEORGESCU (E.), 1961.- Untersuchungen über die ätherischen Öle einiger in Rumänien angebaute Umbelliferen. *Pharmazie*, 16(6): 331-334.

CALESTANI (V.), 1905.- *Foeniculum*. In: Contributo alla sistematica delle Umbellifere d'Europa. Martelli (U.) ed. . *Webbia*, 1: 203-205.

CANDOLLE (A.P. de), 1813.- *Anethum dulce*, *Anethum foeniculum* β *piperitum*. In: *Catalogus plantarum horti botanici monspeliensis, addito observationum circa species novas aut non satis cognitatas fasciculo*. Martel (J.) ed., Montpellier: 78-79.

CANDOLLE (A.P. de), 1830.- *Foeniculum* Adans. . In: *Prodromus systematis naturalis regni vegetabilis*. Soc. Treuttel et Würz ed., Strasbourg Londres. 4: 142-143.

CANONICA (L.), MANITTO (P.), MONTI (D.) and SANCHEZ (A.M.), 1971.- Biosynthesis of Allylphenols in *Ocimum basilicum* L. . *J. chem. Soc. chem. Comm.*, 18: 1108-1109.

CARTIER (D.), 1960.- La méiose et les associations chromosomiques multiples chez le *Foeniculum vulgare* Gaertn. . *Rev. gén. Bot.*, 67: 225-242.

CERCEAU-LARRIVAL (M.T.), 1962.- Plantules et pollens d'Ombellifères. Leur intérêt systématique et phylogénique. *Mém. Mus. natl Hist. nat. (Paris), Nouv. Sér., Sér. B., Bot.*, 14: 1-166.

CERCEAU-LARRIVAL (M.T.), 1965.- Involucre et involucelle chez les Umbellifères. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 112(5/6): 255-267.

CHARMEUX (F.), 1906.- Un légume peu connu. Le Fenouil doux. *Le Jardin*, 20: 117.

CHASSAGNE (M.), 1957.- In: *Inventaire analytique de la flore d'Auvergne et contrées limitrophes des départements voisins*. Lechevalier (P.) ed., Paris. 2: 220-221.

CHAUDHRY (A.R.), 1959.- Some breeding studies in fennel and coriander. *Agric. (Pak.)*, 10(4): 477-486.

CHAUDHRY (A.R.), 1961.- Receptivity of stigma, viability of pollen and opening of flowers in *Coriandrum sativum* and *Foeniculum* (sic) *vulgare*. *Agric. (Pak.)*, 12(1): 29-41.

CHEVALIER (A.), 1935.- *Foeniculum* Adans. . In: *Les îles du Cap vert. Flore de l'Archipel*. Muséum natl Hist. nat. (Paris): 929-930. (extrait de *Rev. Bot. appl. Agric. trop.*, 15: 733-1090).

CHINGOVA (B.), 1967.- [Etudes de quelques particularités morphologiques et économiques du fenouil]. (traduit du bulgare). *Rastenievod. Nauk. Bolg.* (=Plant Sci. (Sofia)), 4(10): 23-28.

CHINGOVA-BOJADZHIEVA (B.), 1969.- [Biologie de la floraison du fenouil pérenne, résultats de son hybridation]. (traduit du bulgare). *Rastenievod. Nauk. Bolg.* (=Plant Sci. (Sofia)), 6(4): 49-56.

CHOU (J.S.T.), 1973.- Studies on the Volatile components of an Essential oil from Sweet Type, Fennel by Gas Chromatography, Infrared Spectroscopy and etc. . *Koryo, Jap. Perfum. Flavor. Assoc.*, 103: 53-56.

CHRISTIAN (B.C.) and HILDITCH (T.P.), 1929.- XLI. Seed fats of the *Umbelliferae*. II. The Seed fats of some cultivated species. *Biochem. J.*, 23: 327-338.

CHUBEY (B.B.) and DORRELL (D.G.), 1976.- Essential oil research. *Can. Agric.*, 21(4): 15-16.

C.I.N.B., 1983.- Code International de la Nomenclature Botanique. In: *International Code of Botanical Nomenclature Adopted by the Thirteenth International Botanical Congress, Sydney, August 1981*. Voss (E.G.) et al. ed., Antwerpen Boston: 81-163.

C.I.N.P.C., 1955.- Code International de Nomenclature des Plantes Cultivées Texte intégral Traduit de l'anglais par C. Baehni et R. de Vilmorin. *Ann. Soc. natle Hortic. Fr.*, 1(3): 65-80.

CLAPHAM (A.R.), TUTIN (T.G.) and WARBURG (E.F.), 1962 (3^{ème} ed., 1^{ère} en 1952).- In: *Flora of the British isles*. University Press, Cambridge: 525.

CLEVENGER (J.F.), 1942.- Volatile oils in fennel seed. *J. Assoc. off. agric. Chem.*, 25(4): 962-963.

COLIGNON (L.), 1874.- Des canaux sécréteurs dans les ombellifères. *Thèse Pharm. Paris*. 52 pages, 24 références.

CONAN (J.Y.), 1977.- Essai de définition d'un label Bourbon pour quelques huiles essentielles de la Réunion. *Riv. ital. Essenze, Profum., Piante of., Aromi, Sapon., Cosmet., Aerosol*, 59(10): 544-549.

CONSTANCE (L.), 1971.- History of the classification of *Umbelliferae* (*Apiaceae*). In: *The Biology and Chemistry of the Umbelliferae*. Heywood (V.H.) ed., Academic Press, London New York: 1-11.

COSTE (H.), 1902.- *Foeniculum* Adans. . In: *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes (...)*. Librairie des Sciences naturelles Klincksieck (P.), Paris. 2: 195.

COUTINHO (A.X.P.), 1974 (facsimile de la 2^{ème} ed. de 1939, 1^{ère} ed. en 1913).- *Foeniculum* Adans. . In: *Flora de Portugal* (...). Cramer (J.) ed., Lehre; Wheldon & Wesley, Ltd, Codicote; Stechert-Hafner Service, Inc., New York: 536.

CROTEAU (R.), FELTON (M.) and RONALD (R.C.), 1980a.- Biosynthesis of monoterpenes: conversion of the acyclic precursors geranyl pyrophosphate and neryl pyrophosphate to the rearranged monoterpenes fenchol and fenchone by a soluble enzyme preparation from fennel (*Foeniculum vulgare*). *Arch. Biochem. Biophys.*, 200(2): 524-533.

CROTEAU (R.), FELTON (M.) and RONALD (R.C.), 1980b.- Biosynthesis of monoterpenes: preliminary characterization of 1-endo-fenchol synthetase from fennel (*Foeniculum vulgare*) and evidence that no free intermediate is involved in the cyclization of geranyl pyrophosphate to the rearranged product. *Arch. Biochem. Biophys.*, 200(2): 534-546.

CROTEAU (R.) and FELTON (N.M.), 1980.- Substrate specificity of monoterpenol deshydrogenases from *Foeniculum vulgare* and *Tanacetum vulgare*. *Phytochemistry*, 19(7): 1343-1347.

CROTEAU (R.), SHASKUS (J.), CANE (D.E.), SAITO (A.) and CHANG (C.), 1984.- Enzymatic Cyclization of [1-¹⁴O] Geranyl Pyrophosphate to 1-endo-Fenchol. *J. Am. Chem. Soc.*, 106(4): 1142-1143.

CUFODONTIS (G.), 1959 (fac-similé 1974).- *Foeniculum* Boehmer. In: *Enumeratio plantarum aethiopiae spermatophyta*. *Bull. Jard. bot. Etat, Brux.*, 29(3): suppl. 647-648.

DALGADO (D.G.), 1898.- *Foeniculum vulgare*, Gaertn. . In: *Flora de Goa e Savantvadi - Catalogo methodico das Plantas medicinaes, alimentares e industriaes*. Imprensa nacional, Lisboa: 90.

DANES (J.D.), 1984.- Contribution au programme de sélection génétique du fenouil amer. *Rapport de stage*, réalisé sous la direction de M. Desmarest (P.) au Laboratoire d'Agronomie du Centre de Recherche Pernod Ricard. 58 pages, 13 références.

DECHEVA (R.) and TSVETKOV (R.), 1970.- Metabolism of some substances in fennel and coriander fruits. *Dokl. Akad. Sel'skokhoz. Nauk. Bolg.*, 3(1): 33-37.

DELAVEAU (P.), 1987.- Etoiles et ombelles parfumées. In: *Les épices Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments*. Albin (M.) S.A. ed., Paris: 237-248.

DERYNG (J.), STRZELECKA (H.), WALEWSKA (E.) i SOROCZYŃSKA (T.), 1967.- Badanie polskich olejków farmakopealnych cz.II. Olejek koprowy , olejek anyżowy. *Farm. Pol.*, 23(1): 32-38.

DES ABBAYES (H.), CLAUSTRES (G.), CORILLION (R.) et DUPONT (P.), 1971.- *Foeniculum vulgare* Miller. In: *Flore et végétation du massif armoricain. I.- Flore vasculaire*. Presses Universitaires de Bretagne, Saint-Brieuc: 510-511.

DESMAREST (P.), 1978.- New aspects of fennel cultivation in France. *Acta Hortic.*, 73: 289-295.

DESMAREST (P.), DU MANOIR (J.) et HUNAULT (G.), 1988.- Amélioration du fenouil amer par clonage et embryogenèse somatique. 8^{ème} Colloq. Int. Assoc. Plant Tissue Cult., Angers, 8-9/10/1987.

DETIENNE (M.), 1972.- In: *Les Jardins d'Adonis. La mythologie des aromates en Grèce.* «Bibliothèque des histoires», Gallimard ed., Paris: 201-205.

DETIENNE (M.) et VERNANT (J.P.), 1979.- Titan d'Hésiode, Titans d'Orphée. In: *La cuisine du sacrifice en pays grec.* «Bibliothèque des histoires», Gallimard ed., Paris: 71-84.

Dictionnaire des plantes utiles en vingt langues européennes, 1970.- *Foeniculum vulgare* Mill. . In: *Dictionnaire des plantes utiles en vingt langues européennes.* Balashev (L.L.) ed., Moscow: 98.

DORVAULT (F.), 1948 (18^{ème} ed. revue d'après le Codex 1937) .- In: *L'officine. Répertoire général de pharmacie pratique.* Vigot frères ed., Paris: 928.

DRUDE (C.G.O.), 1898.- *Umbelliferae* (Apiaceae, Doldengewächse). In: Engler (A.) und Prantl (K.), *Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten.* Engelmann (W.) ed., Leipzig. 3(8): 63-250.

DU MANOIR (J.), 1980.- Etudes préliminaires sur le *Phomopsis foeniculi* spec. nov., agent du dépérissement du fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.). Travail réalisé à l'I.N.R.A., Station de Pathologie Végétale 78000 Versailles. 93 pages numérotées, 25 photos.

DU MANOIR (J.) et VEGH (I.), 1981.- *Phomopsis foeniculi* spec. nov. sur Fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Phytopathol. Z.*, 100(4): 319-330.

DU MANOIR (J.), DESMAREST (P.) et SAUSSAY (R.), 1985.- *In vitro* propagation of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). *Sci. Hortic. (Amst.)*, 27(1/2): 15-19.

DUQUENOIS (P.), ANTON (R.) et DUPIN (M.), 1977.- Normalisation des drogues végétales V.- Problèmes posés par les fruits de Fenouils. *Ann. pharm. fr.*, 35(11/12): 497-502.

DYBOWSKI (J.), 1902.- In: *Traité pratique des cultures tropicales.* Challamel (A.) ed., Paris. 1: 334-335.

EL-GENGAIHI (S.) and ABDALLAH (N.), 1978.- The effect of Date of Sowing and Plant Spacing on Yield of Seed and Volatile Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Pharmazie*, 33(9): 605-606.

EL-HAMIDI (A.) and AHMED (S.S.), 1966.- The Content and Composition of some Umbelliferous Essential Oils. *Pharmazie*, 21(7): 438-439.

EL-KHRISY (E.A.M.), MAHMOUD (A.M.) and ABU-MUSTAFA (E.A.), 1980.- Chemical Constituents of *Foeniculum vulgare* Fruits. *Fitoterapia*, 51(5): 273-275.

EL-LABBAN (H.M.), EL-HOSSARY (G.A.) and MAHRAN (G.H.), 1972.- Effect of different rates and methods of fertilization on the growth and yield of *Foeniculum vulgare*. *Bull. Fac. Pharm.*, 11(1): 357-369.

EMBONG (M.B.), HADZIYEV (D.) and MOLNAR (S.), 1977.- Essential Oils From Spices Grown in Alberta. Fennel oil (*Foeniculum vulgare* var *dulce*). *Can. J. Plant. Sci.*, 57(3): 829-837.

ENCYCLOPAEDIA UNIVERSALIS, 1974-1975.- Adonis, Aphrodite, Dionysies, Dionysos, Marathon, Phénix, Prométhée. In: *Thesaurus. Encyclopaedia Universalis* France ed., Paris. 18: 19, 88, 549-550; 19: 1206, 1496; 20: 1574.

ENGLER (A.), 1975 (reprint de la 1^{re} ed. de 1892).- In: *über die Hochgebirgsflora des tropischen Afrika*. Koeltz (O.) ed., Koenigstein: 320.

ERBAR (C.) und LEINS (P.), 1985.- Studien zur Organsequenz in Apiaceen-Blüten. *Bot. Jahrb. Syst. Pflanzengesch. Pflanzengeogr.*, 105(3): 379-400.

FEHR (D.), 1980.- Untersuchungen zur Lagerstabilität von Anis, Fenchel und Kümmel. *Pharm. Ztg*, 125(27): 1300-1303.

FEHR (D.), 1982.- Bestimmung flüchtiger Inhaltsstoffe in Teezubereitungen 1. Mitteilung: Freisetzung des ätherischen öls aus Fenchelfrüchten. *Pharm. Ztg*, 127(46): 2520-2522.

FENAROLI (G.), 1963.- Finocchio amaro e dolce (Olio essenziale di). In: *Le Sostanze aromatiche, Vol I Sostanze aromatiche naturali*. Hoepli (U.) ed., Milano: 562-567.

FERNANDES COSTA (A.) and CARDOSO DO VALE (J.), 1959.- Observations in the Study of Portuguese Aromatic Plants - Essential Oil of *Foeniculum vulgare* Mill. *Perfum. Essent. Oil Rec.*, 50: 291-296.

FERNANDES COSTA (A.), CARDOSO DO VALE (J.) and MAIA E VALE (M.A.), 1959.- Contributions to the Study of the Aromatic Plants of Portugal. The Microscopical characteristics of the Fruit of the Fennel. *Perfum. Essent. Oil Rec.*, 50(6): 487-493. (=Características microscópicas dos frutos do funcho. *Rev. port. Farm.*, 9(1): 1-9).

FIORI (A.), 1925 (copyright 1974 par Edizioni Agricole, Bologne).- *Umbelliferae*. In: *Nuova Flora Analitica d'Italia contenente le descrizioni delle piante vascolari indigene inselvatichite e largamente coltivate in Italia*. Ricci (M.) ed., Firenze. 2(1): 18-101.

FISCHER (L.), TORNOW (P.A.) and PROPER (B.L.), 1945.- The content and physical properties of certain volatile oils. *Bull. natl Formul. Commun.*, 13(1/2): 6-10.

Flora of the U.S.S.R., 1973 (série initiée par Komarov (V.I.), volume édité en russe en 1950 par Shishkin (B.K.), traduit en anglais par Lavcott (R.)).- *Foeniculum* Mill. . In: *Volume XVI Umbelliflorae*. Lorch (J.) ed., Jerusalem: 390-392.

Flora of the U.S.S.R., 1974 (série initiée par Komarov (V.I.), volume édité en russe en 1951 par Shishkin (B.K.), traduit en anglais par Lavocott (R.)).- *Palimbia* Bess. . In: *Volume XVII Umbelliflorae (continued)*. Lorch (J.) ed., Jerusalem: 34, 36, planche VI page 38.

FLÜCK (H.) und KAST (C.), 1965.- Der Einfluß des Mahlens auf Drogen mit ätherischem Öl. *Planta Med.*, 13: 488-489.

FORBES ROYLE (J.), 1970 (1^{re} ed. en 1839).- In: *Illustrations of the Botany and others branches of the natural history of the Himalayan mountains and of the flora of Cashmere*. Today & Tomorrow's Printers & Publishers, New Dehli. 1: 229.

FOURNIER (P.), 1947.- In: *Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de France*. Lechevalier (P.) ed., Paris. 2: 144-150.

FOURNIER (P.), 1961.- Ombellifères. In: *Les Quatre Flores de la France Corse comprise*. Lechevalier (P.) ed., Paris: 647-696.

FRAZER (J.G.), 1976 (traduction française de Frazer (L.), 1^{re} ed. en 1921).- In: *Adonis. Etude de religions orientales comparées*. Librairie orientaliste Paul Geuthner S.A., Paris: 174-204.

FRIEDBERG (C.), 1978.- Quelques données ethnobotaniques sur les Ombellifères. In: *Contributions pluridisciplinaires à la Systématique. Actes du 2^e Symposium International sur les Ombellifères (Perpignan, 1977)*. Cauwet-Marc (A.M.) et Carbonnier (J.) ed. : 795-808.

FRIEDMAN (L.) and MILLER (J.G.), 1971.- Odor Incongruity and Chirality. *Science*, 172: 1044-1046.

FUJITA (S.I), ASAMI (Y.) and NOZAKI (K.), 1980.- The Constituents of the Essential Oils from *Foeniculum vulgare* Miller (Miscellaneous Contributions to the Essential Oil of the Plants from Various Territories Part XLVI). (japonais). *Nippon Nôgei-kagaku Kaishi (=J. agric. chem. Soc. Jap.)*, 54(9): 765-767.

GAGNEBIN (F.), 1965.- Incidences du peuplement sur quelques caractères de deux variétés de fenouil. *Rev. hortic. Suisse romande*, 38(2): 38-41.

GARCIA MARQUINA (J.M.) y PULIDO CUCHI (F.), 1951.- Esencias de hinojo españolas. *Farmacogn. (Madr.)*, 11: 209-221.

GARCIA-RODRIGUEZ (M.J.), PAUPARDIN (C.) et SAUSSAY (R.), 1978.- Sur la formation d'un tissu sécréteur et la synthèse d'anéthole par des tissus de Fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill. var. Doux) cultivés *in vitro*. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. D*, 287: 693-696.

GARCKE (A.), 1972 (23^{eme} ed.).- *Foeniculum* Mill. . In: *Illustrierte Flora*. Parey (P.) ed., Berlin Hamburg: 1022-1023.

GARNIER (G.), BEZANGER-BEAUQUESNE (L.) et DEBRAUX (G.), 1961.- *Foeniculum dulce* DC. -Fenouil. In: *Ressources médicinales de la flore française*. Vigot frères ed. . 2: 900-903.

GENEAU DE LAMARLIERE (L.), 1893.- Recherches morphologiques sur la Famille des Umbellifères. Thèse Fac. Sci. Paris, sér. A, n°195, tome 784, 200 pages.

GERTH VAN WIJK (H.L.), 1911.- *Foeniculum* Tourn. . In: *A dictionary of plant names*. Published by the Dutch society of sciences at Haarlem, Nijhoff (M.), The Hague. 1: 549-550.

GIBAULT (G.), 1912.- In: *Histoire des légumes*. Librairie Horticole, Paris: 64-65, 398.

GILDEMEISTER (E.) und HOFFMANN (F.), 1961.- Fenchelöl. In: *Die ätherischen Öle*. Akademie Verlag, Berlin. 6: 432-450.

GILIBERT (J.E.), 1785.- *Anethum foeniculum* L. . In: *Flora Lithuanica inchoata Seu Enumeratio Plantarum Quas Circa Grodnam collegit et determinavit*. Lyon: 356.

GLEISBERG (W.) und HARTROTT (R.), 1953.- Der Gehalt an ätherischen Öl in den Früchten von *Foeniculum vulgare* Mill. nach der Lösung von der Pflanze. *Ber. dtsh. bot. Ges.*, 66(1): 19-30.

GLEISBERG (W.) und HARTROTT (R.), 1960.- Die Reifungsvorgänge in der Fenchelfrucht. Ein Beitrag zu der Frage der Veränderung des Gehaltes an ätherischen Öl in der Frucht vor und nach der Ernte. *Gartenbauwissenschaft*, 7: 183-230.

GOUYON (P.H.), VERNET (P.), GUILLERM (J.L.) and VALDEYRON (G.), 1986.- Polymorphisms and environment: the adaptative value of the oil polymorphisms in *Thymus vulgaris* L. . *Heredity*, 57: 59-66.

GRAAFF (W.C. de), 1929-1930.- Studien über *Fructus Foeniculi*. Vorarbeiten zur Normierung der Drogen. *Heil-u. Gewürz-Pflanz.*, 12: 41-45.

GRAAFF (W.C. de), 1931.- Propositions relatives à la standardisation des qualités des fruits d'Umbellifères. *IV^{ème} Congr. intern. Plantes méd. et Plantes à Essences*: 328-335.

GRISEBACH (A.H.R.), 1843.- *Foeniculum* Ad. . In: *Spicilegium Florae rumelicae et bithynicae exhibens synopsis plantarum quas aest. 1839 legit*. Vieweg (F.) et fils, Brunswick. 1: 357-358.

GUEDES (M.), 1984.- Leaf Morphology in the Umbelliferae: Rachis Unifaciality, Stipels and Pinna Insertion. *Phyton (Horn)*, 24(2): 257-272.

GUENTHER (E.), 1948.- General Methods of Distillation. In: *The Essential Oils*. D. Van Nostrand Company, Inc. Toronto New York London. 1: 111-123.

GUENTHER (E.), 1950.- Oil of fennel. In: *The Essential Oils*. D. Van Nostrand Company, Inc. Toronto New York London. 4: 634-645.

GUENTHER (E.), 1956.- In: *Les huiles essentielles dans l'hémisphère occidental*. Essence de fenouil et anéthol. *Ind. Parfum.*, 11: 410.

GUINOCHET (M.) et VILMORIN (R. de), 1975.- Umbellifères. In: *Flore de France*. C.N.R.S. ed., Paris. 2: 382-485.

GUITTER (P.), 1928.- *Foeniculum*. In: Contribution à l'étude anatomique du Fruit des ombellifères de France. *Thèse Pharmacie Univ. Paris*, n°12: 95

GUPTA (R.), 1977.- Studies in Cultivation and Improvement of Dill (*Anethum graveolens*) in India. In: *Cultivation and Utilization of Medicinal and Aromatic Plants*. Atal (C.K.) and Kapur (B.M.) ed. : 337-349.

GUPTA (S.C.) and KUMARI (K.), 1959.- A contribution to the embryology of *Foeniculum* and *Coriandrum*. *Proc. 46th Indian Sci. Congr. (Delhi)*: 281.

GUPTA (S.C.), 1962.- In: Plant Embryology. Development of exembryonate seeds in *Foeniculum vulgare* Mill. *Symposium, C.S.I.R., New Delhi*: 188-191. D'après *Biol. Abstr.* 43(1963)16291

GUPTA (S.C.), 1964.- The embryology of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Mill. . *Phytomorphology*, 14(4): 530-547.

HACCIUS (B.) und REH (K.), 1956.- Morphologische und anatomische Untersuchungen an Umbelliferen-Keimpflanzen. *Beitr. Biol. Pflanz.*, 32: 185-218.

HARBORNE (J.B.), HEYWOOD (V.H.) and WILLIAMS (C.A.), 1969.- Distribution of myristicin in seeds of the *Umbelliferae*. *Phytochemistry*, 8(9): 1729-1732.

HARBORNE (J.B.) and SALEH (N.A.M.), 1971.- Flavonol glycoside variation in fennel, *Foeniculum vulgare*. *Phytochemistry*, 10: 399-400.

HARDER (R.) und BÜNSOW (R.), 1958.- über die Wirkung von Gibberellin auf Entwicklung und Blütenbildung der Kurztagpflanze *Kalanchoe blossfeldiana*. *Planta*, 51(2): 201-222.

HARDH (J.E.) and HARDH (K.), 1972.- Effects of radiation, day-length and temperature on plant growth and quality: a preliminary report. *Hortic. Res.*, 12(1): 25-42.

HARTWICH (C.) und JAMA (A.), 1909.- Beiträge zur Kenntnis des Fenchels. *Ber. dtsh. pharm. Ges.*, 19: 396-404.

HEDGE (I.C.) and LAMOND (J.M.), 1972.- *Foeniculum* Miller. In: Davis (P.H.). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. University Press, Edinburgh. 4: 376-377.

HEEGER (E.F.) und ROSENTHAL (C.), 1949.- *Foeniculum vulgare* Mill., Fenchel. In: Vorschläge für die Festsetzung der Wertstoffmindestgehalte deutscher Anbaudrogen im neuen Deutschen Arzneibuch (DAB. 7) auf Grund kritisch-experimenteller Untersuchungen. *Pharmazie*, 4(8): 383-384.

HEEGER (E.F.), 1956.- *Foeniculum vulgare* Mill., Fenchel. In: *Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenbaues. Drogengewinnung*. Deutscher Bauernverlag: 393-405.

- HEGI (G.), BEGER (H.) und MARZELL (H.), 1926.- *Ridolfia segetum*, *Seseli tortuosum*, *Foeniculum*, *Anethum*, *Silaum*, *Palimbia rediviva*. In: Dicotyledones (III. Teil). In: Hegi (G.). *Illustrierte Flora von Mittel-Europa Mit besonderer Berücksichtigung von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz Zum Gebrauche in den Schulen und zum Selbstunterricht*. Lehmanns (J.F.) Verlag, München, 5(2): 1161-1162, 1226-1229, 1284-1290, 1290-1295, 1295-1298, 1364.
- HEGNAUER (R.), 1973.- *Umbelliferae*: Ätherische öle. In: *Chemotaxonomie der Pflanzen*. Birkhäuser Verlag, Basel Stuttgart. 6: 617-626.
- HEGNAUER (R.), 1986.- Phytochemistry and plant taxonomy - An essay on the chemotaxonomy of higher plants. *Phytochemistry*, 25(7): 1519-1535.
- HELLER (R.), 1982 (2^{ème} ed.).- In: *Abrégé de Physiologie végétale. Tome II Développement*. Masson ed., Paris New York Barcelone Milan Mexico Rio de Janeiro: 185.
- HERISSET (A.), JOLIVET (J.) et REY (P.), 1972.- Différenciation de quelques huiles essentielles présentant une constitution voisine (en particulier par l'examen de leurs spectres UV, IR, Raman) V' Essences de Badiane de Chine (*Illicium verum* Hook. f.), d'Anis vert (*Pimpinella anisum* L.) et de Fenouil doux (*Foeniculum dulce* D.C.). *Plant. med. Phytother.*, 6(2): 137-148.
- HÉTHELYI (I.) i TÉTÉNYI (P.), 1979.- Pirolízises gázkromatográfia alkalmazása a gyógynövénykutatóban. [Application de la chromatographie en phase gazeuse par pyrolyse dans la recherche phytothérapique]. (hongrois). *Herba Hung.*, 18(1): 87-96.
- HILL (J.), 1756.- In: *The British herbal: an history of plants and trees, natives of Britain, cultivated for use, or raised for beauty*. Fasc. 41: 414. D'après Stafleu et Cowan, 1979, 2^{ème} ed., 2: 200-201.
- HIROE (M.), 1958.- In: *Umbelliferae of Asia (excluding Japan)*. Maruzen Company Limited, Kyoto: 51-52.
- HOPPE (H.A.), 1975 (8^{ème} ed.) .- *Foeniculum*. In: *Drogen Kunde*. Walter de Gruyter ed., Berlin New York. 1: 506-510.
- HORE (A.), 1976.- Cytogenetical studies of the genus *Foeniculum* (*Umbelliferae*). *Indian Agric.*, 20(3): 183-191.
- HORE (A.), 1979.- Improvement of Minor (Umbelliferous) Spices in India. *Econ. Bot.*, 33(3): 290-297.
- HOSNI (H.A.), 1984.- Taxonomic Revision of the family *Umbelliferae* in Egypt. Ph.D. Thesis Fac. Sci. Univ. Cairo. 196 pages, 141 références.
- HOTIN (A.A), 1968.- [The role of external factors in essential oil accumulation]. (russe). *Tr. vses. nauc. issled Inst. Efirnomasl. Kul'tur*, n°1: 35-44. d'après *Hortic. Abstr.* 40(1970)1956
- HSU (Hong-Yen), CHEN (Yuh-pan), SHEN (Shuenn-jiyi), HSU (Chau-shin), CHEN (Chien-chih) and CHANG (Hsien-Chang), 1986.- *Foeniculi Fructus*. In: *Oriental Materia Medica a concise guide*. Oriental Healing arts institute ed., Los Angeles: 378-379.

HUNAUULT (G.), DESMAREST (P.) et DU MANOIR (J.), 1988.- Fennel (*Foeniculum vulgare* Miller): cell culture, regeneration and the production of anethole. Bajaj (Y.P.S.) ed. . 7: sous presse.

INDEX KEWENSIS, 1895, 1908, 1913, 1921, 1929, 1938, 1966.- *Foeniculum*. In: *Index Kewensis*. I: 972; suppléments 3: 77; 4: 92; 5: 108; 7: 98; 9: 117; 13: 57.

INDEX LONDINENSIS, 1930, 1941.- *Foeniculum* Adans. . In: *Index Londinensis*. Oxford at the clarendon Press. III: 200; supplément 1: 413.

ISHIBASHI (K.), KATSUHARA (J.), HASHIMOTO (K.) et KOBAYASHI (M.), 1967.- [Composés de l'essence d'anis étoilé et de l'essence de fenouil.] (japonais). *Kogyô Kagaku Zasshi*, 70(7): 1195-1197.

JAHANDIEZ (E.) et MAIRE (R.), 1932.- *F. vulgare* Mill. . In: *Catalogue des Plantes du Maroc*. Imprimerie Minerva, Alger; librairie Lechevalier (P.), Paris. 2: 543.

JANECKE (H.) und NIKLASCH-HENNIG (F.), 1961.- Untersuchungen über den Verlauf der metallkatalysierten Oxydation in ätherischen ölen (Anethol). *Arch. Pharm.*, 294: 616-623.

JOSHI (A.B.), 1961.- These new spices will pay you well. *Indian Farming*, 10(10): 26-28.

JOSHI (B.S.), RAMANUJAM (S.) and SAXENA (M.B.L.), 1963.- Improvement of some essential oil bearing spice plants. *Bull. regl Res. Lab. Jammu*, 1(2): 94-100. Cité par Hore (A.), 1979

KADRY (A.), TEWFIC (H.A.), HABIB (S.A.), 1978.- Morphology and Distribution of Glandular Structures in *Foeniculum vulgare*, Mill. . *Egypt. J. Hortic.*, 5(1): 13-19.

KAMIŃSKI (B.), GLOWNIAK (K), MAJEWSKA (A.), PETKOWICZ (J.) SZANIAWSKA-DEKUNDY (D.), 1978.- Poszukiwanie związkow kumarynowych w nasionach i owocach I. Owoce rodziny baldaszkowatych (*Umbelliferae - Apiaceae*). (polonais). *Farm. Pol.*, 34(1): 25-28.

KANEKO (K.), 1960a.- Biogenetic Studies of Natural Products. IV. Biosynthesis of Anethole by *Foeniculum vulgare*. (1). *Chem. pharm. Bull. (Tokyo)*, 8: 611-614.

KANEKO (K.), 1960b.- Biogenetic Studies of Natural Products. V. Biosynthesis of Anethole by *Foeniculum vulgare*. (2). *Chem. pharm. Bull. (Tokyo)*, 8: 875-879.

KANEKO (K.), 1961.- Biogenetic Studies of Natural Products. VI. Biosynthesis of Anethole by *Foeniculum vulgare*. (3). *Chem. pharm. Bull. (Tokyo)*, 9(2): 108-109.

KANEKO (K.), 1962.- Biogenetic Studies of Natural Products. VIII. Biosynthesis of Anethole by *Foeniculum vulgare*. (4). *Chem. pharm. Bull. (Tokyo)*, 10(11): 1085-1087.

KARLSEN (J.), BAERHEIM SVENDSEN (A.), CHINGOVA (B.) and ZOLOTOVITCH (G.), 1969.- Studies on the fruits of *Foeniculum* species and their essential oil. *Planta Med.*, 17(3): 281-293.

KAROW (H.), 1968.- Über die wertbeständigen Inhaltsstoffe einiger Gewürze. *Riechst., Aromen, Körp.pfl.mittel*, 18(10): 428, 430-432.

KAZAKOWA (K.), 1971.- Study on planting method and seeding rate of annual fennel. [Etude de la méthode de plantation et des normes d'ensemencement du fenouil annuel.]. (traduit du bulgare). *Rastenievod. Nauk.*, 8(2): 97-103.

KERNER VON MARILAUN (A.), 1898 (2^{ème} ed.).- In: *Pflanzenleben von Anton Kerner von Marilaun. Zweite, gänzlich neubearbeitete Auflage. II Band Die Geschichte der Pflanzen.* Bibliographisches Institut, Leipzig Wien: 385, 386, 679.

KIRSCHLEGER (F.), 1870.- *Foeniculum*. In: *Flore vogéso-rhénane ou description des plantes qui croissent naturellement dans les Vosges et la vallée du Rhin.* Baillière (J.B.) et fils, Paris, Treuttel et Wurtz, Strasbourg. 1: 227.

KLEIMAN (R.) and SPENCER (G.F.), 1982.- Search for New Industrial Oils: XVI. *Umbelliflorae* - Seed Oils Rich in Petroselinic Acid. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 59(1): 29-38.

KLISCHIES (M.), STÖCKIGT (J.) and ZENK (M.H.), 1975.- Biosynthesis of the Allylphenols Eugenol and Methyleugenol in *Ocimum basilicum* L. . *J. chem. Soc. chem. Comm.*, (21): 879-880.

KNUTH (P.), 1908.- 342. *Foeniculum* Tourn. et 363. *Anethum* Tourn. . In: *Handbook of Flower Pollination based upon Hermann Müller's work 'The fertilisation of flowers by insects'. Vol II Observations on flower pollination made in Europe and in the arctic regions on species belonging to the natural orders. Ranunculaceae to Stylidieae.* Oxford at the Clarendon Press: 485, 493-494.

KOCH (K.), 1847.- *Foeniculum multiradiatum* C Koch. . In: *Beiträge zur Flora des nördlichen Küstenlandes von Kleinasien.* *Linnaea*, 19: 38.

KOEDAM (A.), SCHEFFER (J.J.C.) and BAERHEIM SVENDSEN (A.), 1979.- Comparison of isolation procedures for essential oils. I. Dill (*Anethum graveolens* L.). *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.*, 6(1): 1-7.

KOFLER (L.), 1936.- Ueber die Zunahme des ätherischen Oeles beim Kümmel und Fenchel während des Lagerns. *Pharm. Monatsh.*, 17(9): 165-166. Les mêmes résultats sont présentés dans d'autres revues, telle *Pharm. Ztg*, 81: 931.

KÖNIG (J.), 1893 (3^{ème} ed. améliorée).- In: *Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genussmittel. Zweiter Theil. Die menschlichen Nahrungs- und Genussmittel, ihre Herstellung, Zusammensetzung und Beschaffenheit, ihre Verfälschungen und deren Nachweis.* Springer (J.) ed., Berlin: 664-665, 746-747.

KOSO-POLJANSKY (B.M.), 1916.- *Sciadophytorum systematis lineamenta.* II. *Byull. Moskov. Obshchestva Ispytatelei Prirody (=Bull. Soc. imp. Nat. Moscow)*, 29: 93-222.

KRAUS (A.) et HAMMERSCHMIDT (F.J.), 1980.- Recherches sur les essences de fenouil. *Dragoco Rep.*, 27(2): 31-41.

KÜCHLER (E.), 1964.- Untersuchung von *Oleum Foeniculi* und *Aqua Foeniculi*. In: *Gaschromatographische Untersuchung einiger ätherischer Öle und aromatischer Wässer. Dissertation Univ. Zürich*: 34-45.

KUNKEL (M.A.) y KUNKEL (G.), 1978.- *Apio marino Seseli Webbii* Coss. In: *Flora de Gran Canaria Tomo III Las plantas suculentas.* Ediciones del excmo. cabildo insular de Gran Canaria, Las Palmas: 94, planche 140 page 95.

KUNTZE (O.), 1891.- In: *Revisio generum plantarum vascularium omnium atque cellularium multarum secundum leges nomenclaturae internationales cum enumeratione plantarum exoticarum in itinere mundi collectarum.* Felix (A.), Leipzig; Dulau & Co., London; Hoepli (U.), Milano; Schechert (G.E.), New York; Klincksieck (C.), Paris. 1: 267.

KUNZEL (G.), 1977.- In: *Naturalia hispanica numero 8 Las plantas vasculares de Fuerteventura (Islas Canarias), con especial interés de las forrajeras.* Madrid.

KUNZEMANN (J.) und HERRMANN (K.), 1977.- Isolierung und Identifizierung der Flavon(ol)-O-glykoside in Kümmel (*Carum carvi* L.), Fenchel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Anis (*Pimpinella anisum* L.) und Koriander (*Coriandrum sativum* L.) und von Flavon-C-glykosiden im Anis. *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.*, 164(3): 194-200.

Livres KWA-WI, 1873 (traduit du japonais de 1759 par Savatier (L.) et Saba, qui ont ajouté les désignations latines).- In: *Botanique japonaise - Livres KWA-WI, Herbaceae-1^{er} volume.* Savy (F.) ed., Paris: 16-17.

LA FACE (D.), 1957.- Su alcune essenze della flora sponanea della Lucania. *Riv Ital. Essenze, Profumi, Piante of., Oli vegetali, Saponi*, 39: 21-25.

LA FACE (F.), 1924.- Properties of a few Calabrian essential oils. *Parfum Fr.*, 21: 326-327. D'après *Chem. Abstr.* 19(1925)559

LAGRIFFE (L.), 1968.- Histoire des épices, des aromates et des condiments à travers les siècles. In: *Le livre des épices, condiments et aromates.* Morel (R.) ed., marabout service: 25-91.

LAG (), 1891.- Le fenouil. *Le Jardin*, 5: 167-168.

- LAL (R.N) and SEN (T.), 1971.- Studies on the Essential Oils from the Seeds of Indian Varieties of *Foeniculum vulgare* Miller. *Flavour Ind.*, 2(9): 544-545.
- LAMARTI (A.), 1987.- Evolution de l'huile essentielle de fenouil amer (*Foeniculum Vulgare* Mill.) dans les différents organes de plantules cultivées «in vitro». Thèse Doct. Univ. Lille Flandres Artois, n° 129. 387 pages, 396 références.
- LANGERON (M.), 1949 (7^{ème} ed. refondue).- Précis de Microscopie. Technique - expérimentation - diagnostic. Masson & C^{ie} ed., Paris, 1430 pages.
- LAWRENCE (B.M.), 1980.- New trends in essential oils. *Perfum. Flavor.*, 5: 6, 8, 10, 12-16.
- LE BOURHIS (B.), 1973.- In: *Propriétés biologiques de l'anéthole Principe aromatique des plantes anisées*. Maloine S.A. ed., Paris. 138 pages, 102 références.
- LICHTENSTEIN (E.P.) and CASIDA (J.E.), 1963.- Naturally occurring insecticides Myristicin, an Insecticide and Synergist Occuring Naturally in the Edible Parts of Parsnips. *J. Agric. Food Chem.*, 11(5): 410-415.
- LICHTENSTEIN (E.P.), LIANG (T.T), SCHULZ (K.R.), SCHNOES (H.K.) and CARTER (G.T.), 1974.- Insecticidal and Synergistic Components Isolated from Dill Plants. *J. Agric. Food Chem.*, 22(4): 658-664.
- LINDEMANN (G.), 1967.- Die Umbelliferenfrüchte in der Likörindustrie VIII. Fenchel. *Riechst., Arom., Körp.pfl.mittel*, 17(5): 188, 190, 192.
- LINNAEUS (C.), 1753 (5^{ème} facsimile ed., 1957).- *Anethum*. In: *Species plantarum exhibentes plantas rite cognitatas, ad Genera Relatas, cum Differentiis Specificis, Nominibus Trivialibus, Synonymis Selectis, Locis Natalibus, Secundum Systema Sexuale Digestas*. The Ray society, Adlar and Son, Bartholomew Press, Dorking. 1: 263.
- LOJACONO-POJERO (M.), 1891.- In: *Flora Sicula o Descrizione delle piante vascolari spontanee o indigenate in Sicilia*. Bizzarili (S.) imp., Palermo. 1(2): 272, 278-281, 292-293.
- LOJACONO-POJERO (M.), 1908.- *Foeniculum giganteum* n. sp. . In: *Flora sicula. Descrizione delle piante vascolari spontanee o indigenate in Sicilia*. Palermo. 3: 445.
- LORET (V.), 1892.- Ombellifères. In: *La Flore pharaonique d'après les documents hiéroglyphiques et les spécimens découverts dans les tombes*. Leroux (E.) ed., Paris: 70-72.
- LOVELOCK (Y.), 1972.- Fennel (*Foeniculum vulgare*). In: *The vegetable book. An Unnatural History*. George Allen & Unwin Ltd, London: 328-329.
- LOWE (R.T.), 1864.- *Foeniculum* L. . In: *A Manual Flora of Madeira and the adjacent Islands of Porto Santo and the Desertas*. Van Voorst (J.) ed., London. 1(3): 358-359.

LOYAL (J.P.) and SHARMA (R.K.), 1981.- The investigation of floral biology of fennel and coriander. *Indian Cocoa, Arecanut Spices J.*, 6(4): 102-104.

MAC CLINTOCK (D.), 1975.- In: *The Wild Flowers of Guernsey*. Collins ed., London: 140.

MAGHAMI (P.), 1979.- Fenouil. In: *Culture et cueillette des plantes médicinales*. «Nouvelle Encyclopédie des Connaissances Agricoles», Hachette ed., Paris: 86-89.

MAHESHWARI (P.) and TANDON (S.L.), 1959.- Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). In: *Agriculture and Economic Development in India*. *Econ. Bot.*, 13(3): 231.

MAIRE (R.), 1935.- *Foeniculum subinodorum* Maire, Weiller et Wilczek. In: *Contributions à l'étude de la Flore de l'Afrique du Nord*. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, 26: 205.

MAIRE (R.), 1936.- *Anethum foeniculoides* Maire et Wilczek, n. sp., et *Anethum Theurkauffii* Maire, n. sp. . In: *Contribution à l'étude de la Flore de l'Afrique du Nord*. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, 27(2): 66; 27(6): 225-227; 28(7): planche 27.

MANITTO (P.), MONTI (D.) and GRAMATICA (P.), 1974.- Biosynthesis of anethole in *Pimpinella anisum* L. . *Tetrahedron Lett.*, 17: 1567-1568.

MARTÍNEZ-CROVETTO (R.), 1942.- La médula de hinojo en reemplazo de la médula de saúco. *Agronomía (Buenos Aires)*, 30: 382-386. D'après d'autres auteurs

MARTÍNEZ-CROVETTO (R.), 1947.- *Foeniculum vulgare* Mill. . In: *Umbelliferas*. *Rev. Invest. agric.*, 1(1): 32-35.

MEIKLE (R.D.), 1977.- *Umbelliferae*. In: *Flora of Cyprus*. Published by The Bentham-Moxon Trust, Royal Botanical Gardens, Kew. 1: 686-767.

MENDEZ (J.) and CASTRO-POCEIRO (J.), 1981.- Coumarins in *Foeniculum vulgare* fruits. *Rev. latinoam. Quim.*, 12(2): 91-92.

MENORET (Y.), 1985.- Recherches sur plantes aromatiques et cultures fruitières pour l'industrie des boissons. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 71(9): 985-994.

MERKES (K.), 1980.- Drogen mit ätherischem öl (XIV) (XV) (XVI) *Foeniculum vulgare* Miller - Fenchel. *PTA-Repetitorium*, 10: 37-40, 11: 41-44, 12: 45-48. (publié aussi dans *Pta. Prakt. Pharm.*, 9(10/11/12))

MESSIAEN (C.M.), 1975.- Le Fenouil de Florence. In: *Le Potager Tropical 2-cultures spéciales*. Presses Universitaires de France: 370, 373.

MEUNIER (E.), 1913.- Le Fenouil de Florence. *Rev. hortic. (Paris)*, 13: 354-355.

MEYER (A.), 1889.- Ueber die Entstehung der Scheidewände in dem Sekretführenden, plasmalfreien Intercellularraume der Vittae der Umbelliferen. *Botan. Z.*, 47(21): 341-352; (22): 357-366; (23): 373-379, tableau IV.

MEYER (U.), 1937.- Beiträge zur Pharmakognosie der Umbelliferen Anatomie des Laubblattes. *Dissertation Basel*. 128 pages, 98 références.

MILLER (P.), 1754 (4^{ème} facsimile abridg. ed., 1969).- *Foeniculum*, Fenel. In: *The Gardeners Dictionary Containing the Methods of Cultivating and Improving all sorts of Trees, Plants, and Flowers for the Kitchen, Fruit, and Pleasure Gardens; as also Those which are used in Medicine with Directions for the Culture of Vineyards, and Making of Wine in England (...)*. Cramer (J.) ed., Lehre; Wheldon & Wesley, Ltd. agency, inc., Codicote; Stechert-Hafner sevice, New York: 512-514.

MILLER (P.), 1768 (8^{ème} ed.).- In: *The Gardeners Dictionary (...)*. Rivington (J.) and (F.), London. 1: pas de pagination.

MOLLET (C.), 1678.- In: *Théâtre des jardinages contenant une méthode facile pour faire des pépinières, Planter, Elever, Enter, Greffer, & Cultiver toutes sortes d'Arbres fruitiers, avec les fleurs qu'il faut mettre dans les Parterres qui servent à l'embellissement des Jardins*. Sercy (C. de) ed., Paris: 147.

MOREAU (J.P.), HOLMES (R.L.), WARD (T.L.) and WILLIAMS (J.H.), 1966.- Evaluation of Yield and Chemical Composition of Fennel Seed from Different Planting Dates and Row-Spacings. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 43(6): 352-354.

MORISON (R.), 1672.- In: *Plantarum Umbelliferarum Distributio nova, per tabulas cognitionis et affinitatis ex Libro Naturae Observata & detecta*. Oxford: 3, 70-72, 74-75, tableaux II, IV.

MOUTERDE (P.), 1970.- *Foeniculum* Mill. . In: *Nouvelle Flore du Liban et de la Syrie*. Dar el-Machreq ed., Beyrouth. 2: 626-627, planche CCXC.

NABĚLEK (F.), 1923.- *Foeniculum officinale* All. f. *pauciradiata*. In: *Iter Turcico -Persicum. Pars I Plantarum collectarum enumeratio (Ranunculaceae-Dipsacaceae)*. Písa (A.), Brno, Univ. Masaryk: 127.

NARAYANAN (E.S.), SHARMA (P.L.) and PHADKE (K.G.), 1960.- Studies on Requirements of Various Crops for Insect Pollinators. I. Insect pollinators of Saunf (*Foeniculum vulgare*) with particular reference to the Honey Bees at Pusa, (Bihar). *Indian Bee J.*, 22: 7-11.

NAVES (Y.R.) et TUCAKOV (J.), 1959.- Présence d'anétholes dans les essences de fenouil de Yougoslavie. *C. R.*, 248: 843-845.

NAVES (Y.R.), 1969.- La chimiotaxonomie en rapport avec la production des huiles essentielles. *Candollea*, 24(1): 35-43.

NEGRE (R.), 1962.- *Foeniculum vulgare* Mill. . In: *Petite flore des régions arides du Maroc occidental*. C.N.R.S. ed., Paris. 2: 110.

NYMAN (C.F.), 1879.- *Foeniculum* Ad. . In: *Conspectus Florae Europaeae, seu enumeratio methodica plantarum phanerogamarum Europae indigenarum, indicatio distributionis geographicae singularum etc. . Örebro sueciae typis officinae Bohlinae*. 2: 292.

OSISIUGU (I.U.W.), 1967.- Essential oils of Nigeria Part II: A study of the oil of fennel produced at Nsukka. *Planta Med.*, 15(1): 30-31.

PALAISEUL (J.), 1972.- In: *Nos grand-mères savaient... La vérité sur les plantes et la vie naturelle*. Laffont (R.) ed., Paris: 144-146.

PAOLETTI (A.), 1900.- *Foeniculum* (Tourn.) Adans. . In: Fiori (A.) e Paoletti (A.), *Flora Analitica d'Italia ossia descrizione delle piante vascolari indigene inselvatiche e largamente coltivate in Italia* disposte per quadri analitici. Tipografia del Seminario, Padova. 2(1): 173.

PARRY (J.W.), 1969.- XXVII. Fennel. In: *Spices*. Chem Pub. Co., New York. 2: 120-123.

PATEL (G.J.) and JAISANI (B.G.), 1964.- Effect of Pre-soaking Treatment and Stage of Harvest on the Germination of Fennel Seed. *Indian J. Agron.*, 9(4): 261-267.

PATER (B.), 1925.- Arbeiten aus dem Laboratorium der Arzneipflanzenversuchanstalt in Klausenburg (Cluj). *Heil- u. Gewürz-Pflanz.*, 7(9/12): 137-146.

PAUKOV (V.N.), RUDENKO (B.A.) and KUCHEROV (V.F.), 1968.- Analysis of essential oils, using capillary chromatography. *Bull. Acad. Sci. U.S.S.R., Div. chem. Sci.*: 12-16. [traduction anglaise de *Iz. Akad. Nauk S.S.S.R., Ser. him.*, 1: 15-19.]

PAUPARDIN (C.), GARCIA-RODRIGUEZ (M.J.) et BRICOUT (J.), 1980.- Culture de tissus de plantes aromatiques: production d'huile essentielle, propagation végétative. In: *Colloq. Eucarpia*, C.N.R.A. ed., Versailles: 201-210.

PELLINI (G.), 1923.- Untersuchung über die wirksamen Bestandteile, welche aus den Arznei- und Parfümeriepflanzen Siciliens gewonnen werden können. I. Die ätherischen öle. *Chem. Zentr.*, 4: 607-611. Voir aussi *Ann. Chim. appl.*, 7: 97-145.

PENEVA (P.), KRILOV (A.), DIMITROVA (S.) and PETRAKOV (B.), 1977.- [Effect of ecological conditions on the productivity of fennel]. (bulgare). *Rasten. Nauk.*, 14(8): 87-95. D'après *Hortic. Abstr.* 48(1978)7561

PERON (J.Y.), 1981.- Le Fenouil: une production déficitaire en France, à promouvoir sous abris. *Pép. Hortic. Maraich., Rev. hortic.*, 217: 21-40.

PERROT (E.), 1944.- Fenouil. In: *Matières premières usuelles du Règne végétal*. Masson ed., Paris. 2: 1658-1659.

PERROT (E.), 1947.- In: *La culture des plantes médicinales*. Presses universitaires de France, Paris: 180-183.

- PEYRON (L.), BENEZET (L.), DE DORTAN (D.) et GARNERO (J.), 1969.- Sur la présence de la terpine -1,8 dans les essences de badiane et de fenouil doux (*Illicium verum* H.- *Foeniculum vulgare* var. *dulce* M.). *Bull. Soc. chim. Fr.*, (1): 339.
- PHARMACOPOEA HELVETICA, 1949 (5^{ème} ed., française, avec suppl. 1).- *Fructus Foeniculi*. In: *Pharmacopoea Helvetica*. Staemfli et Cie ed., Berne: 497-498.
- PITARD (J.) et PROUST (L.), 1973 (Facsimile ed., 1^{ère} ed. en 1908).- *Umbelliferae* Juss. . In: *Les Iles Canaries. Flore de l'Archipel*. Koeltz (O.) ed., Koenigstein-Taunus: 197-208.
- PLANCHON (G.), 1875.- Des Fruits (*Fructus*)-Ombellifères. In: *Traité pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale*. Librairie Savy (F.), Paris. 1: 311-330.
- PLUKENET (L.), 1696.- *Foeniculum*. In: *Almagestum botanicum sive phytographiae Pluc'netianae Onomasticon Methodo Synthetica* (...). Londres: 157.
- POTRAT (C.), 1896.- Culture potagère de primeurs. Le fenouil. *Le Jardin*, 10: 161-162.
- QUAGLIOTTI (L.), ACCATI (E.) and MILANESIO (M.), 1968.- Preliminary report on a functional type of male-sterility in fennel. *Genet. Agraria*, 5th Congr. *Eucarpia*, Milan, 23: 359-363.
- QUEZEL (P.), 1957.- Plantes nouvelles du Tibesti. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord*, 48: 82-104. (*Foeniculum scoparium* page 91-92)
- QUEZEL (P.), 1958.- *Foeniculum scoparium* Quézel. In: *Mission botanique au Tibesti. Mémoire n°4, Univ. Alger, Institut de Recherches sahariennes*. Imbert (E.) impr., Alger: 156-157.
- QUEZEL (P.), 1965.- La haute montagne saharienne. In: *La Végétation du Sahara Du Tchad à la Mauritanie*. Fischer (G.) ed., Stuttgart: 218-275.
- RAMANUJAM (S.), JOSHI (B.S.) and SAXENA (M.B.L.), 1964.- Extent and randomness of cross-pollination in some umbelliferous spices of India. *Indian J. Genet.*, 24(1): 62-67.
- RAMANUJAM (S.) and TEWARI (V.P.), 1970.- Heterosis breeding in fennel. *Indian J. genet. Plant Breed.*, 30(3): 732-737.
- RANDHAWA (G.S.) and GILL (B.S.), 1985.- Effect of row spacing and nitrogen level on growth and yield of fennel (*Foeniculum vulgare*). *J. Res., Punjab agric. Univ.*, 22(1): 39-42.
- RAO (B.S.), SUDBOROUGH (J.J.) and WATSON (H.E.), 1925.- *Foeniculum Panmorium*, D.C. . In: notes on some Indian essential oils. *J. Indian Inst. Sci.*, 8A(10): 184.

RAVID (U.), PUTIEVSKY (E.) and SNIR (N.), 1983.- The volatile components of oleoresins and the essential oils of *Foeniculum vulgare* in Israel. *J. nat. Prod.*, 46(6): 848-851.

RAY (J.), 1686.- *Cap. XV. De Foeniculo. In: Lib. IX. De Herbis Umbelliferis. In: Historia plantarum (...)*. Londres. 1: 457-458.

RECHENBERG (Von C.), 1910.- *In: Theorie der Gewinnung und Trennung der ätherischen öle durch Destillation. Schimmel & Co. ed., Miltitz bei Leipzig: 430. Cité par Guenther (E.), 1948.*

REICHENBACH (H.G.), 1863-1867.- *Umbelliferae in Flora Germanica recensitae. In: Reichenbach (L.) et Reichenbach (H.G.), Icones Florae Germanicae et Helveticae (...)*. Ambrosi Abel ed., Leipzig. 21: 108 pages, 220 planches.

REIN (J.J.), 1886.- *In: Japan nach Reisen und Studien im Auftrage der königlich preussischen Regierung dargestellt. Zweiter Band. Land- und Fortwirthschaft, Industrie und Handel. Engelmann (W.) ed., Leipzig: 85, 159.*

RICCIARDELLI D'ALBORE (G.C.), 1986.- Les insectes pollinisateurs de quelques ombellifères d'intérêt agricole et condimentaire (*Angelica archangelica* L., *Carum carvi* L., *Petroselinum crispum* A.W.Hill., *Apium graveolens* L., *Pimpinella anisum* L., *Daucus carota* L., *Foeniculum vulgare* Miller v. *azoricum* Thell.). *Apidologie*, 17(2): 107-124. D'après *Apicultural Abstr.*

RODRIGUEZ (M.M.), PIZZORNO (M.T.) y ALBONICO (S.M.), 1982.- Análisis de Anetol en el Aceite Esencial de Hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.) por Espectroscopía de Resonancia Magnética Protónica. *Acta Farm. Bonaerense*, 1(2): 75-79.

ROI (J.), 1955.- *In: Traité des plantes médicinales chinoises. Lechevalier (P.) ed., Paris: 243-244, 249.*

ROLET (A.), 1918.- *In: Plantes à parfums et plantes aromatiques. Librairie Baillièrre et fils, Paris: 363-368.*

ROLLAND (E.), 1967.- *In: Flore Populaire ou Histoire naturelle des plantes dans leurs rapports avec la linguistique et le folklore. G.P. Maisonneuve et Larose ed., Paris. 6: 151-157.*

ROM (P.), 1929-1930.- Beiträge zur Kenntnis des Ungarischen Fenchelöles. *Heil -u. Gewürz-Pflanz.*, 12: 137-141.

ROMPAEY (E.) et DELVOSALLE (L.), 1972.- *In: Atlas de la Flore belge et luxembourgeoise. Bruxelles: n°623.*

ROSENTHALER (L.), 1913.- über chinesisches Fenchel. *Ber. dtsh. pharm. Ges.*, 23: 570-576.

ROSS-CRAIG (S.), 1959.- *Foeniculum vulgare* Mill. . *In: Drawings of British plants, being illustrations of the species of flowering plants growing naturally in the British isles. Part XIII. Umbelliferae (2) Araliaceae. Cornaceae. G. Bell & Sons Ltd, London: planche 2.*

ROTH (I.), 1977.- The schizocarpium of *Umbelliferae*. In: *Handbuch der Pflanzenanatomie. Band X Teil I. Fruits of angiosperms.* Gebrüder Borntraeger, Berlin Stuttgart: 311-329.

ROUY (G.) et CAMUS (E.G.), 1901.- *Foeniculum*. In: *Flore de France ou description des plantes qui croissent spontanément en France, en Corse et en Alsace-Lorraine.* 7: 278-279.

ROXBURGH (W.), 1832 (1^{ère} ed. en 1820).- *Anethum Panmori* R. In: *Flora Indica or Description of Indian Plants.* Thacker (W.) and Co., Calcuta; Parbury, Allen and Co., London. 2: 94-96.

ROZAS DE VOTTERO (L.), GROS (E.G.) et RETAMAR (J.A.), 1981.- L'huile essentielle de *Foeniculum Vulgare* (Fenouil). *Essenze deriv. agrumari*, 51(1): 20-27.

SANTAPAU (H.) and HENRY (A.N.), 1973.- In: *A dictionary of the flowering plants in India.* Gupta (P.S.), Menon (P.N.M.) and Sham (R.) ed., New Dehli.

SAUVAIGO (E.), 1929.- In: *Les cultures sur le littoral de la Méditerranée.* Baillière (J.B.) et fils ed., Paris: 308-310.

SCARAMUZZI (F.), 1951.- Il miglioramento delle razze orticole di finocchio dolce. Ricerche sulla biologia fiorale. *Riv. Ortoflorofruttic. Ital.*, 35(1/2): 19-27.

SCARAMUZZI (F.), 1952.- Note genetiche e pratiche per la selezione del finocchio dolce. *Riv. Ortoflorofruttic. Ital.*, 36(5/6): 113-122.

SCHANTZ (M. von) und JUVONEN (S.), 1969.- Gaschromatographische Untersuchungen von aromatischen Wässern. *Arch. Pharm.*, 302(10): 775-787.

SCHEFFER (J.J.C.), KOEDAM (A.) and BAERHEIM SVENDSEN (A.), 1976.- Occurrence and Prevention of Isomerization of Some Monoterpenes Hydrocarbons from Essential Oils During Liquid-Solid Chromatography on Silica Gel. *Chromatogr.*, 9(9): 425-432.

SCHEFFER (J.J.C.), KOEDAM (A.), SCHÜSLER (M.T.I.W.) and BAERHEIM SVENDSEN (A.), 1977.- Improved Gas Chromatographic Analysis of Naturally Occuring Oxygen-Containing Monoterpenes Following Prefractionation by Liquid-Solid Chromatography. *Chromatogr.*, 10(11): 669-677.

SCHIMMEL und Co., 1889.- Fenchel-Oel. In: *Ber. Schimmel & Co. Akt. -Ges.*, October: 27.

SCHIMMEL und Co., 1893.- Fenchel-Oel. In: *Ber. Schimmel & Co. Akt. -Ges.*, October: 18-19.

SCHIMMEL et C^{ie}, 1904.- Essence de Fenouil. In: *Bull. sem. Schimmel & C^{ie}*, Octobre/Novembre: 44-45.

SCHIMMEL et C^{ie}, 1907.- Essence de Fenouil. In: *Bull. sem. Schimmel & C^{ie}*, Octobre: 56-57.

SCHIMMEL und Co., 1913.- Fenchelkrautöl. In: *Ber. Schimmel & Co. Akt. -Ges.*, April: 108-109.

SCHMIDT (E.), 1926.- Der deutsche Fenchelbau. *Heil-u. Gewürz-Pflanz.*, 9: 62-63.

SCHULZ (A.), 1890.- Beiträge zur Kenntnis der Bestäubungseinrichtung und Geschlechtsverteilung. *Bibliotheca botanica*, Heft 17: en particulier 84-85.

SEHER (A.) und IVANOV (S.A.), 1976.- Natürliche Antioxydantien II Antioxydantien des fetten öles von *Foeniculum vulgare* Miller 1. Die 6-Oxychroman-Derivate. *Fette, Seifen, Anstrichm.*, 78(6): 224-228.

SERRES (O. de), 1802 (3^{ème} ed. de 1605 revue et augmentée par l'auteur, remise en français par Gisors (A.M.), 1^{ère} ed. en 1600).- In: *Théâtre d'agriculture et mesnage des champs*. Sangrain (A.) ed., Paris: 3: 189-191, 4: 229, 235.

SHAH (C.S.), QADRY (J.S.) and CHAUHAN (M.G.), 1969.- Chemical races in *Foeniculum vulgare* Miller. *Current Sci. (India)*, 38(15): 365-366.

SHAH (C.S.), QADRY (J.S.) and CHAUHAN (M.G.), 1970.- Chemical races in fennel. *Planta Med.*, 18(4): 285-290.

SHARMA (A.K.) and BHATTACHARYYA (N.K.), 1959.- Further investigations on several genera of *Umbelliferae* and their interrelationships. *Genetica*, 30: 1-62.

SHARMA (A.K.) and SHARMA (K.D.), 1984.- Effect of relative humidity and temperature on the spoilage of *Foeniculum vulgare* Mill. seeds during storage. *Agric. Sci. Dig.*, 4(1): 25-28.

SHILOVA (S.N.), 1972.- [The flowering biology of dill and fennel. (russe). *Nauchnye Trudy Maikopskoi Opytnoi Stantsii VNII Rast.*, 5: 115-120. D'après *Hortic. Abstr.* 44(1974)645

SHIMADA (T.), 1959.- Effect of gibberellin treatment on the photoperiodically treated fennel plant. *Foeniculum vulgare* on the relation between flower differenciation and internode elongation of shoot in long day plants II. *Agric. Bull. Saga. Univ.*, 9: 1-78. Référence du fichier de l'I.R.A.B.

SHULGIN (A.T.), 1967.- The separation and identification of the components of the aromatic ether fraction of essential oils by gas-liquid chromatography. *J. Chromatogr.*, 30: 54-61.

SJÖGREN (E.), 1984.- 74. *Foeniculum vulgare* Mill. var. *azoricum* (Mill.) Thell. - Funcho. In: *Açores Flores*. Printed by Offsetcenter AB, Uppsala: pas de pagination.

S.N.P.P.M. (=Syndicat National des Producteurs, ramasseurs et collecteurs de Plantes Médicinales, aromatiques et industrielles), 1974, 1975.- Courtes notes dans les comptes rendus du Syndicat.

SPITZER (E.) and LOTT (J.W.A.), 1982a.- Protein bodies in umbelliferous seeds. I. Structure. *Can. J. Bot.*, 60(8): 1381-1391.

SPITZER (E.) and LOTT (J.W.A.), 1982b.- Protein bodies in umbelliferous seeds. II. Elemental composition. *Can. J. Bot.*, 60(8): 1392-1398.

STAFLEU (F.A.) and COWAN (R.S.), 1976-1988 (2nd ed.).- Taxonomic literature A selective guide to botanical publications and collections with dates, commentaries and types. Scheltema & Holkema, Bohn; Antwerpen, Utrecht; Junk (W.) Publishers The Hague, Boston. 7 volumes.

STAHL (E.) und FUCHS (J.), 1968.- Dünnschicht-Chromatographie zur Kennzeichnung von Arzneibuchdrogen. 3. Mitteilung: Direktaufgabe der Wirkstoffe von Drogen, die ätherische Öle enthalten mit dem TAS-Verfahren. *Dtsch. Apoth. Ztg*, 108(34): 1227-1231.

STAHL (E.) und HERTING (D.), 1976.- über die Verteilung des ätherischen Öles und der Cumarine in den einzelnen Früchten einiger Apiaceen. *Planta Med.*, 29(1): 1-9.

STAHL (E.), 1982.- Ätherische Öl aus Gemüsefenchel- Untersuchungen zur Zusammensetzung. *Dtsch. Apoth. Ztg*, 122(45): 2324-2326.

STEINER (M.) und HOCHHAUSEN (I.), 1954.- Untersuchungen an Umbelliferenfrüchten über Veränderung des Gehaltes an ätherischen Ölen bei der Reife und Lagerung und seine Beeinflussung durch Außenfaktoren. *Biochem. Z.*, 73(5/6): 283-296.

STEINMETZ (E.F.), 1957 (2nd ed.).- n°481 *Foeniculum Vulgare*. In: *Codex Vegetabilis*.

STENZEL (E.), 1958.- Zur Sicherung der Ertragssteigerung von *Foeniculum vulgare* Miller und Verbesserung der Versorgung mit *Fructus Foeniculi*. Bericht über einen Erfahrungsaustausch. *Pharmazie*, 13(6): 360-363.

STEUDEL (E.T.), 1840 (2nd ed.).- *Foeniculum*. In: *Nomenclator Botanicus seu: Synonymia Plantarum Universalis, enumerans ordine alphabetico nomina atque synonyma, tum generica tum specifica, et a linneo et a recentioribus de re botanica scriptoribus plantis phanerogamis imposita*. Cottae (J.G.) ed., Stuttgart Tubingen. 1: 643.

STYGER (J.) und ZÖRNIG (H.), 1919.- In: Beiträge zur Anatomie der Umbelliferenfrüchte. *Schweiz. Apoth. Ztg*, 57: 170-176.

STYK (B.), 1969a.- Wpływ rozstawy i liczby roślin oraz wielkości sadzonek na plon kopru włoskiego (*Foeniculum capillaceum* Gilib.). Influence of Spacing, Number of Plants and Height of Seedlings on the Yield of Fennel (*Foeniculum capillaceum* Gilib.). (polonais). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E*, 24(17): 261-275.

STYK (B.), 1969b.- Wpływ różnych temperatur i światła na zdolność kiełkowania nasion kopru włoskiego (*Foeniculum vulgare* Gilib.). [Influence of Different Temperatures and Light on the Germination Power of the Seeds of Fennel (*Foeniculum vulgare* Gilib.)]. (polonais). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E.*, 24(18): 277-288.

SUNDARARAJ (D.D.), SOUNDRAPANDIAN (G.) and ALIKHAN (A.M.M.), 1963.- Preliminary observations on Fennel (*Foeniculum vulgare* Gaertn.) with special reference to Floral Biology. *Madras Agric. J.*, 50(6): 235-238.

SWEET (R.), 1830 (2^{me} ed.).- *Foeniculum* G. . In: *Sweet's Hortus Britannicus; or, a catalogue of plants, indigenous, or cultivated in the gardens of Great Britain; arranged according to their natural orders, with references to the Linnean class and order to which each genus belongs; the whole brought up to the present time and contains Above 34.000 Plants (...)*. Ridgway (J.) ed., London: 247.

TABACCHI (R.), GARNERO (J.) et BUIL (P.), 1974.- Contribution à l'étude de la composition de l'huile essentielle de fruits d'Anis de Turquie. *Riv. ital. Essenze., Profumi, Piante of., Aromi, Sapon., Cosmet., Aerosol*, 56(11): 683-698.

TARDY (E.), 1897.- Sur l'essence de fenouil amer. *Bull. Soc. chim. Paris*, sect. 3, 17: 660-664.

TARDY (E.), 1902a.- Etude analytique de quelques essences du genre anisique. *Thèse Pharmacie Paris*, n°16, 59 pages.

TARDY (E.), 1902b.- Sur les essences d'anis, fenouil et badiane. *J. Pharm. Chim.*, 16: 322-325.

TÉTÉNYI (P.), 1970 (copyright par Akadémiai Kiadó, Budapest).- *Infraspecific chemical taxa of medicinal plants*. Chemical Publishing Co., Inc., New York. 225 pages, nombreuses références.

THUNBERG (C.P.), 1784.- In: *Flora japonica sistens Plantas Insularum Japonicarum secundum Systema sexuale emendatum redactas ad XX Classes, ordines, genera et species cum differentiis specificis, synonymis paucis, descriptionibus concinnis et XXXIX iconibus adjectis*. Leipzig: 120.

TÓTH (L.), 1967a.- Untersuchungen über das ätherische Öl von *Foeniculum vulgare*. I Die Zusammensetzung des Frucht - und Wurzelöls. *Planta Med.*, 15(2): 157-172.

TÓTH (L.), 1967b.- Untersuchungen über das ätherische Öl von *Foeniculum vulgare*. II Veränderungen der verschiedenen Fenchelöle vor und nach der Ernte. *Planta Med.*, 15(4): 371-389.

TRENKLE (K.), 1970.- Untersuchungen zur Frage der Bildung und Akkumulation einiger Monoterpene und Phenylpropanderivate in *Foeniculum vulgare* M. *Dissertation Univ. Hambourg*. 94 pages, 95 références.

TRENKLE (K.), 1971.- Neuere Untersuchungen in *Foeniculum vulgare*. Organische Säuren, speziell Phenylcarbonsäuren. *Planta Med.*, 20(4): 289-301.

- TRENKLE (K.), 1972.- Neuere Untersuchungen an Fenchel (*Foeniculum vulgare* M.) 2. Mitteilung: Das ätherische Öl von Frucht, Kraut und Wurzel fruktifizierender Pflanzen. *Pharmazie*, 27(5): 319-324.
- TSAI (D.S.), 1979.- [*Foeniculum vulgare* and *Anethum graveolens*.] (chinois). *Nung Yeh K'o Hsueh* (Taipei) (=Chin. agric. Sci.), 27(1/2): 35-39.
- TSCHIRCH (A.) und OESTERLE (O.), 1900.- *Fruct. foeniculi*. In: *Anatomischer Atlas der Pharmacognosie und Nahrungsmittelkunde*. Tauchnitz (C.H.), Leipzig: 52-54, tableau 14.
- TSVETKOV (R.), 1970.- Study on the fruit quality of some umbelliferous essential-oil plants. *Planta Med.*, 18(4): 350-353.
- TSVETKOV (R.), KAMBOUROVA (K.) and LOUCHEVA (M.), 1975.- [Studies on the preservation of seeding qualities of seeds of some essential oil plants.] (bulgare). *Rastenievod. Nauk.*, 12(5): 46-56.
- TUCAKOV (J.), 1957.- Contribution à l'étude de quelques plantes aromatiques et huiles essentielles yougoslaves. *Materiae vegetabiles*, 2(3): 184-218. (ou: Contributo allo studio di alcune piante aromatiche ed essenze jugoslave. *Riv. ital. Essenze, Profumi, Piante of., Oli vegetali, Sapon.*, 39: 471-487).
- TUTIN (T.G.), 1968.- *Foeniculum* Miller, *Anethum* L., *Silaum* Miller, *Ridolfia* Moris, *Palimbia* Besser, *Bonannia* Guss. . In: Tutin (T.G.) et al., *Flora Europaea*. University Press, Cambridge. 2: 341, 341-342, 342, 352, 358, 358.
- UMNEY (J.C.), 1896.- Japanese Fennel and its Oil. *Pharm. J.*, 4(3): 91-92.
- UMNEY (J.C.), 1897.- The commercial varieties of fennel and their essential oils, suivi de Pharmaceutical Society, Evening meeting in London. *Pharm. J.*, 4(58): 225-227, 232-234.
- VERNET (P.) et GOUYON (P.H.), 1979.- Le polymorphisme chimique de *Thymus vulgaris*. *Parfums, Cosmét., Arômes*, 30: 31-45.
- VILMORIN-ANDRIEUX et C^{ie}, 1891 (2^{ème} ed., 1^{ère} en 1883).- Fenouil. In: *Les Plantes potagères description et culture des principaux légumes des climats tempérés*. Paris: 238-240.
- VLAHOV (R.), OGNJANOV (J.) and TS(Z)ANKOVA (E.), 1964.- Composition of Bulgarian essential oil from *Foeniculum dulce* Mill fruit. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 17(6): 569-572. (ou: Zusammensetzung des Bulgarischen Fenchel-öles, gewonnen aus den Früchten des süßen Fenchels [*Foeniculum dulce* Mill]). *Riechst., Arom., Körp.pfl.mittel*, 14(11): 350-351).
- WAHID (M.A.) and IKRAM (M.), 1961.- Standardization of some local aromatic herbs I. . *Pak. J. sci. ind. Res.*, 4(1): 40-41. D'après *Chem. Abstr.* 60(1964)15678d



WEBB (P.B.) et BERTHELOT (S.), 1838 (planche), 1843 (texte).- *Ferula ? tortuosa*. Webb. . In: *Tome troisième. Deuxième partie. Phytographia Canariensis. In: Histoire naturelle des îles Canaries. Paris. Sectio II: 161, planche 77.*

WEICHAN (C.), 1948.- Der Gehalt an ätherischem Öl bei aromatischen Pflanzen in Abhängigkeit von der Düngung. *Pharmazie*, 3(10): 464-467.

WELLENDORF (M.), 1963.- The essential oils in *Pharmacopoea Danica* 1948 gas chromatography and thin layer chromatography. *Dan. Tidsskr. Farm.*, 37: 145-177.

WESSELY (H.), 1929-1930.- Die Fenchelkultur in Südmähren. *Heil-u. Gewürz-Pflanz.*, 12: 6-10.

WIGHT (R.), 1843.- In: *Icones Plantarum Indiae Orientalis or Figures of Indian Plants. Madras Calcutta London. 2: 1, 5, planches 515, 570.*

WITTMACK (L.), 1922 (2^{ème} ed).- Reihe *Umbelliflorae*. In: *Landwirtschaftliche Samenkunde. Handbuch für Landwirte, Landw. Versuchsstationen, Samenzüchter, Samenhändler, Botaniker, Müller und Gärtner. Parey (P.) ed., Berlin: 403-423.*

YABE (Y.), 1902 (réimp.).- *Foeniculum Adans.* In: *Revisio Umbelliferarum Japonicarum. J. Coll. Sci. imp. Univ. Tokyo*, 16(2): 59-60, fig. 32.

YOSHIDA (A.), JUCQUOIS (G.), 1972.- Indo-Européens. In: *Encyclopaedia Universalis. Encyclopaedia Universalis France ed., Paris. 8: 928-929, 930-933.*

YOUNGHEN (H.W.), 1949.- Drug plants gardens and apiculture. *Rept. State Apiarist, Iowa: 115-122. Cité par Narayanan et al. (1960)*

ZAOSTROVSKAYA (E.M.) and EMMERIKH (N.S.), 1973.- Initial material for breeding green fennel. (russe). *Tr. prikl. Bot., Genet. Sel.*, 49(2): 108-121.

ZLATEV (S.K.), 1976.- Dynamics of essential oil accumulation in Dill (*Anethum graveolens* Linnaeus) during 24 hours. *Riv. ital. Essenze, Profumi, Piante of., Aromi, Sapon., Cosmet., Aerosol*, 58(10): 553-555.

ZOHARY (M.), 1972.- *Foeniculum* Mill. . In: *Flora Palaestina. The Israel Academy of Sciences and humanities, Jerusalem. 2: 432-433, planche 626.*