

UNIVERSITE DE BLIDA 1

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des biotechnologies

THESE DE DOCTORAT

En sciences agronomiques

Option : amélioration des productions végétales

**ETUDE DE LA VEGETATION MELLIFERE ET CARACTERISATION
PHYSICO-CHIMIQUE ET MELISSO-PALYNOLOGIQUE DES MIELS
DE LA REGION DE DJELFA**

Par

MEKIOUS SCHERAZAD

Devant le jury composé de :

M. BENMOUSSA M.	Professeur. Uni. Blida 1	Président
M ^m . HOUMANI Z.	Professeur. Uni. Blida 1	Directeur de thèse
M ^m . AYAD-LOUCIF W.	Professeur. Uni. Annaba	Examineur
M. AISSAT A.	Maitre de Conférences A Uni. Blida 1	Examineur
M. BERKANI M.L	Professeur ENSA d'Alger	Examineur
M. CHEFROUR A.	Professeur Uni. Souk Ahras	Examineur

BLIDA, avril 2016

RESUME

Dans les vastes zones steppiques semi arides d'Algérie, la végétation naturelle est la première barrière à la désertification et, elle offre une ressource essentielle aux populations locales par les revenus de l'apiculture, en l'occurrence le miel. La région de Djelfa constitue une zone de grande transhumance des abeilles pour la production du miel.

Cette étude a pour objectif de déterminer les paramètres physico-chimiques et polliniques des miels. L'échantillonnage est composé de 38 miels récoltés au niveau de 11 stations de la région steppique de Djelfa. Les analyses polliniques ont permis d'identifier 34 taxons. L'espèce végétale la plus représentée est *Ziziphus lotus* avec une distribution de 92,11%. Son pollen est dominant dans 27 miels, avec des pourcentages polliniques supérieurs à 45%. Aussi, des espèces telles que *Euphorbia bupleuroides*, *Peganum harmala*, *Thapsia garganica*, *Scolymus hispanicus* et *Retama retam* ont des distributions supérieures à 55%. Des taux similaires de distribution sont retrouvés chez différentes espèces appartenant aux familles de *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Cistaceae*; leurs fréquences polliniques permettent de les classer en pollens secondaires ou tertiaires.

Les résultats des analyses physico-chimiques (taux d'humidité, pH, acidité libre, conductivité électrique, couleur, teneur en Hydroxyméthylfurfural, indice diastasique, indice saccharase et teneur en glucides) montrent que les miels sont conformes aux normes européennes et internationales de qualité.

Les caractéristiques déterminées participent à la mise en place d'une banque de données référentielles pour les miels de la steppe algérienne notamment ceux de la région de Djelfa. Cette région constituerait une zone de production de miel de *Z. lotus* (jujubier), espèce d'une grande importance dans la qualité des miels en apiculture.

SUMMARY

In the vast steppe areas of Algeria, natural vegetation is the first barrier to desertification but also provides an essential resource for local people with the honey and incomes from beekeeping. It is an ecosystem service rarely assessed. In order to develop this resource, physicochemical and palynological properties were determined to characterize 38 honeys from the steppe semi-arid region of Djelfa.

The results of the pollen analysis identify 34 present taxa. The most important is *Ziziphus lotus* with a distribution of 92,11%. Its pollen is dominant in 27 honeys with pollen percentages more than 45%. Plants belonging to *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Cistaceae*, and the species *Euphorbia bupleuroides*, *Peganum harmala*, *Thapsia garganica*, *Echium sp* and *Retama retam* have distributions above than 55%. Their Pollen percentages allow to classify them into secondary or tertiary pollen. The results of physico-chemical parameters (moisture content, pH, free acidity, electrical conductivity, color, content in Hydroxymethylfurfural, diastase, saccharase index and carbohydrate content) revealed that honeys of Djelfa comply with European and international standards quality.

Determined characteristics participate in the establishment of a data bank of reference for Algerian steppe honey particular those in the region of Djelfa. This region is an area of great bee transhumance for honey production of *Z. lotus* (jujube), a species of great importance for beekeeping.

ملخص

في مناطق السهوب الشاسعة من الجزائر، الغطاء النباتي الطبيعي هو الحاجز الأول للتصحّر، كما يوفر موردا أساسيا للسكان المحليين بالعسل والدخل من تربية النحل. يتعلق الأمر بخدمة بيئية نادرة تقيمها. من أجل تطوير هذا ت دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية و محتوى حبوب اللقاح لثمانية و ثلاثين عينة عسل تم إنتاجها في منطقة السهوب في الجلفة.

حددت نتائج تحليل لمكونات حبوب اللقاح 34 الأصناف نباتية.النبات الاكثر تمثيل هو نبات السدر مع توزيع

92.11 . حبوب اللقاح هذه النبتة موجود 27 عينة عسل و نسبة أعلى من 45 .

Euphorbia bupleuroides, Peganum harmala و النباتات *Asteraceae, Brassicaceae, Cistaceae,*

Thapsia garganica, Echium sp, Retama retam لديها توزيعات اكثر من 55 . رتبهم في الطلع .

المقاييس الفيزيائية و الكيميائية (درجة الحموضة، الحموضة الحرة، التوصيل الكهربائي، اللون،

Hydroxyméthylfurfural diastase, saccharase ومحتوى الكربوهيدرات)

لمعايير الجودة الأوروبية والدولية .

في هذه الدراسة تشارك في مشروع تقييم العسل و تنفيذ مصرف بيانات مرجعية للعسل

منطقة السهوب الجزائرية بما فيها منطقة الجلفة. هذه المنطقة ذات أهمية كبيرة لترحال النحل من أجل إنتاج العسل

السدر نبتة ذات أهمية لمجال تربية النحل.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est agréable de témoigner ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont accompagné dans la réalisation de ce travail. Les nombreux appuis ne permettent pas de les citer tous nominativement et que chacun sache que j'ai été sensible à son aide. Cependant, je remercie en particulier le Professeur Houmani Z. pour avoir dirigé cette thèse, pour ses précieux conseils et orientations, qu'elle trouve ici mon entière gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements et reconnaissance au Pr. BENMOUSSA M. pour la présidence du jury. J'adresse ma profonde reconnaissance aux Pr. AYAD-LOUCIF W, Pr BERKANI M.L., Pr. CHEFROUR A et au Dr. AISSAT A. d'avoir accepté d'examiner ce travail. C'est un honneur pour moi de vous avoir dans le jury et pour l'intérêt que vous portez à mon travail. Vos remarques et suggestions ne feront qu'améliorer la qualité du manuscrit.

J'exprime aussi ma profonde gratitude aux apiculteurs de la région de Blida et de Djelfa, qui ont contribué à la fourniture des échantillons de miel.

Je remercie le président de l'ADAMB monsieur Hamzaoui M. de l'intérêt qu'il porte à la recherche apicole en général et particulièrement à ce travail qui contribuerait à valoriser les efforts des apiculteurs à produire des miels de qualité.

Je dois beaucoup à toute l'équipe du laboratoire du CARI en Belgique. Je garde de bons souvenirs de leur accueil dans le laboratoire, leurs compétences dans ce domaine m'ont permis une formation et la réalisation de mes analyses. Je remercie particulièrement Mr. Pierre Polus apiculteur professionnel en Belgique, Mr Pascal Jourdan, directeur de l'ADAPI d'Aix en Provence, et Mr. Paul Schweitzer, directeur du laboratoire d'analyse et d'écologie apicole de la lorraine pour toute leur aide dans la réalisation de mon travail.

Je remercie chaleureusement toute ma famille et particulièrement mes chères sœurs Kenza et Nardjes pour leurs encouragements et leur patience tout au long de la préparation de cette thèse.

Nous œuvrons pour valoriser et protéger les miels des différents terroirs d'Algérie et nous sommes conscients de l'intérêt de l'abeille et de ses produits pour notre environnement et notre santé.

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION	10
1. LA FLORE MELLIFERE	12
1.1. Processus et lois de la sécrétion nectarifère.....	12
1.2. Facteurs agissant sur la sécrétion nectarifère	13
1.3. Relation entre l'abeille et la flore	14
1.3.1. Adaptation de l'abeille au butinage.....	14
1.3.2. Adaptation des plantes à fleurs au butinage	17
1.3.3. Particularités florales adaptées aux abeilles	18
1.3.4. Caractéristiques du butinage chez l'abeille	19
1.3.5. Rôles des phéromones dans le butinage.....	21
1.3.6. Facteurs influençant la dimension de l'aire de butinage	21
2. ELABORATION DU MIEL ET DESCRIPTION DES PRINCIPALES METHODES D'ANALYSE DES MIELS	23
2.1. Définitions du miel.....	23
2.2. Elaboration du miel.....	24
2.3. Les différents types de miel	24
2.4. Propriétés physico-chimiques des miels.....	26
2.5. Propriétés enzymatiques des miels.....	33
2.6. Propriétés organoleptiques des miels.....	33
2.7. Propriétés polliniques des miels.....	40
2.8. Facteurs essentiels de qualité et normes internationales.....	44
2.9. Promotion des miels de qualité	47
CHAPITRE III : CARACTERES DU POLLEN UTILISES POUR L'IDENTIFICATION DES MIELS	49
3.1. Définition du grain de pollen	49
3.2. Origine des grains de pollens dans les miels	50
3.3. Description morphologique	50
3.4. Identification des grains de pollen.....	53
3.5. Estimation de l'origine géographique	53
3.6. Estimation de l'origine botanique.....	53
3.7. Analyses polliniques.....	54
4. MATERIEL ET METHODES	55
4.1. Présentation de la région de Djelfa	55
4.2. Matériel	57
4.3. Méthodes.....	59
4.3.1. Récolte des miels et préparation des échantillons	59

4.3.2. Analyses des miels	59
4.3.2.1. Analyse pollinique des miels	59
4.3.2.2. Analyses physico-chimiques des miels.....	62
4.3.2.3. Analyse organoleptique	64
4.3.3. Traitements des résultats	68
5. RESULTATS ET DISCUSSION.....	69
5.1. Analyses pollinique des miels	69
5.1.1. Identification des types de pollen	69
5.1.2. Dénombrements des grains de pollen	71
5.2. Analyses physico-chimiques	81
5.3. Analyses organoleptiques des miels	93
5.4. Traitement statistique des résultats	96
5.4.1. Répartition géographique des échantillons.....	96
5.4.2. Composition pollinique.....	100
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	104
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	106

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

- Figure 1: Schéma d'un grain de pollen.
- Figure 2: Diversité de la forme des grains de pollen et leurs ouvertures [89].
- Figure 3: Localisation géographique de la wilaya de Djelfa.
- Figure 4: Localisation des 11 ruchers de récolte de miels au niveau de la wilaya de Djelfa.
- Figure 5: Vue des anthères des fleurs à la loupe binoculaire.
- Figure 6: Roue des odeurs et des arômes des miels.
- Figure 7: Pollen acétolysé de *Ziziphus lotus* (Rhamnaceae) (GX100).
- Figure 8: Pollen acétolysé de *Peganum harmala* (Zygophylaceae) (GX100).
- Figure 9: Pollen acétolysé de *Thapsia garganica* (Apiaceae) (GX100).
- Figure 10: Pollen acétolysé d' *Euphorbia bupleuroides* (Euphorbiaceae) (GX100).
- Figure 11: Pollen acétolysé de *Retama retam* (Fabaceae) (GX100).
- Figure 12: Fréquence de la présence des pollens des 34 taxons identifiés dans les échantillons de miel.
- Figure 13: Composition pollinique des miels du groupe (Z) (GX20).
- Figure 14: Composition pollinique des miels du groupe (T) (GX20).
- Figure 15: Teneurs moyennes en eau des miels analysés.
- Figure 16: Conductivités électriques moyennes des miels analysés.
- Figure 17: pH moyens des miels analysés.
- Figure 18: Acidités libres moyennes des miels analysés.
- Figure 19: Teneurs moyennes en HMF des miels analysés.
- Figure 20: Indices diastases moyens des miels analysés.
- Figure 21: Indices saccharases moyens des miels analysés.
- Figure 22: Profil glucidique des miels analysés.
- Figure 23: Teneurs moyennes en monosaccharides dans les miels.
- Figure 24: Composition moyenne en disaccharides dans les miels.
- Figure 25: Teneurs moyennes en trisaccharides dans les miels.
- Figure 26: Variations de la couleur des miels analysés.
- Figure 27: Intensité aromatiques des miels.
- Figure 28: Intensité des saveurs des miels.

- Figure 29: Valeurs en pourcentage des composantes principales.
- Figure 30: Répartition des échantillons sur les deux premières composantes en fonction de leurs localités.
- Figure 31: Clustering des différents échantillons en fonction de leur similarité de propriétés physicochimiques.
- Figure 32: Dendrogramme regroupant les taxons en fonction de leurs pourcentages polliniques dans les miels analysés.
- Figure 33: Cercle des corrélations des différentes variables physicochimiques en fonction des groupes polliniques.
- Figure 34 : Répartition des échantillons de miels sur les deux premières composantes de l'ACP en fonction des groupes polliniques.

- Tableau 1: Table de CHATAWAY [47]
- Tableau 2: Les sens intervenant dans l'analyse sensorielle des miels VACHE et al [44]
- Tableau 3: Norme concernant la qualité du miel selon le projet CL 1998/12-S du Codex Alimentarius [5] et selon le projet de l'UE 96/0114 [6]
- Tableau 4 : Table de conversion en unité Pfund.
- Tableau 5: Fréquence de distribution des taxons dans les 38 miels analysés (%).
- Tableau 6: Fréquence de la présence des types de pollen des taxons dans les miels analysés (%).
- Tableau 7: Résultats des analyses physico-chimiques.
- Tableau 8: Différents types de glucides présents dans les miels analysés.

INTRODUCTION

L'Algérie dispose de vastes étendues steppiques qui subissent une importante pression anthropique et des sécheresses récurrentes, facteurs importants de désertification [1]. La végétation des steppes est particulièrement adaptée à ce type de milieu et constitue un premier rempart par rapport à la désertification. Elle offre ainsi un service écosystémique important auquel s'ajoute la production de miel par les abeilles qui participent au maintien de la biodiversité, et cela par la pollinisation des espèces sauvages et cultivées. La biodiversité fournit en effet l'essentiel des services indispensables à la survie de l'Humanité [2]. En France, par exemple, la valeur des services rendus par la pollinisation de l'abeille domestique sont évalués à deux milliards d'euro [3].

Les steppes algériennes couvrent une superficie globale de 20 millions d'hectares de parcours qui représentent 8,4 % du territoire national. La région steppique est située dans l'étage bioclimatique semi aride. La flore naturelle de la région est connue pour sa richesse en espèces aromatiques dont la plupart représentent des ressources naturelles importantes pour l'alimentation des abeilles. Ceci suscite l'intérêt particulier des apiculteurs des régions du nord qui y transhument leurs ruchers d'abeilles durant les périodes de disette (juin, juillet).

Ce patrimoine naturel se trouve menacé, selon BENCHERIF [4], par certaines pratiques d'exploitation, entraînant souvent l'extinction de nombreuses espèces. La région steppique vit particulièrement des problèmes de désertification causés par des facteurs naturels et anthropiques combinés.

Cherchant de nouveaux créneaux promoteurs permettant d'intégrer l'agriculture dans une gestion raisonnée et équilibrée de ces milieux. Et, les abeilles participent à la préservation et au maintien de la biodiversité. L'apiculture pourrait donc, au même titre que les autres actions de lutte contre la désertification, s'insérer parfaitement dans le cadre d'une politique de développement et de préservation. Ce créneau permet aussi la création des richesses tout en préservant l'environnement et les ressources naturelles.

Un programme national de développement agricole (PNDA) a visé l'implantation de 600 000 ruches à l'échelle nationale y compris les régions steppiques. Ce programme a été élargi en 2005 par les attributions de ruches confiées par le gouvernement au ministère

de l'agriculture et du développement rural. Dans ce contexte, une attention particulière a été donnée à l'abeille et aux productions apicoles et à leur qualité.

Cependant, le secteur apicole de la région steppique n'a pas fait l'objet d'études mettant en valeur les potentialités mellifères et la qualité des miels produits. Ce qui a attiré notre intérêt pour mener notre étude dans la wilaya de Djelfa, située au centre de la steppe algérienne. Notre étude s'intégrerait dans le développement régional, elle contribuerait à la valorisation les miels de cette région.

Les analyses polliniques, physico-chimiques et organoleptiques sont des paramètres qui caractérisent la qualité des miels et définit leur origine. Les pollens sont des marqueurs du milieu floristique. L'étude du profil pollinique permet de connaître les pollens de certaines espèces butinées par l'abeille et vérifier leur origine géographique. Leurs présences dans les miels donnent des indications précieuses sur la présence et la distribution des taxons dans leurs milieux. La détermination des paramètres physico-chimiques, permet de vérifier leur origine botanique et leur qualité selon les normes internationales du codex alimentaire [5] et celles de la directive de la commission européenne du miel 2001/110/CE [6], modifiée par la directive 2014/63/UE [7].

La valorisation des plantes steppiques par la production du miel de qualité peut être une voie intéressante pour mettre en évidence l'importance de la biodiversité florale de cette région. Leur exploitation permet la promotion de la filière apicole dans cette zone pastorale d'un grand intérêt écologique régional.

1. LA FLORE MELLIFERE

La flore constitue avec le climat deux éléments essentiels du milieu déterminant le rendement en apiculture; ils représentent indiscutablement des facteurs limitant de première importance [8]. La flore mellifère constitue un ensemble d'espèces végétales présentes sur un territoire donné susceptibles d'être à la base de la production de miel. Ce sont des espèces végétales productrices de nectar, de pollens et/ou de miellats et qui sont visités par les abeilles [8,9]. Ces produits peuvent être présents de façon isolée ou conjointe. Dès lors, il est plus correct de parler de:

- Espèce nectarifère lorsqu'elle produit principalement du nectar (thym, luzerne cultivée etc.),
- Espèce pollinifère lorsqu'elle procure aux abeilles du pollen en abondance (noisetier, coquelicot, pavot etc.).

Cependant, beaucoup d'espèces sont à la fois nectarifères et pollinifères. C'est notamment le cas de la majorité des espèces appartenant aux familles des *Brassicaceae*, des *Apiaceae* et des *Asteraceae*. Aux espèces apicoles, s'ajoutent celles qui fournissent aux abeilles la propolis. Il s'agit surtout d'arbres tels que le peuplier, le chêne et plusieurs conifères [10]. Les potentiels nectarifères et pollinifères des plantes sont estimés en kg par hectare (kg/ha) [11].

1.1. Processus et lois de la sécrétion nectarifère

Selon LOUVEAUX [8], le nectar est la principale origine du miel; c'est un liquide sucré et mielleux; il se produit à la surface de parties spéciales appelées nectaires, en forme de turgescence, situés soit sur les feuilles, appelés nectaires extra floraux (ex : cerisiers) soit sur les fleurs et sont appelés nectaires floraux comme ceux de la violette ou du thym.

RABIET [12] souligne que la sécrétion nectarifère est un phénomène complexe qui dépend à la fois de l'anatomie et de la physiologie de la plante, de la position et la structure des nectaires. Pour que les nectaires produisent du nectar, il est nécessaire que celui-ci exerce une forte pression sur les enveloppes élastiques des cellules nectarifères [13]. La pression exercée permet au liquide, légèrement sucré, de traverser les parois fines des

cellules des nectaires et de sortir à l'extérieur. L'eau de ce liquide s'évapore en partie et laisse un concentré sucré: le nectar.

La puissance mellifère des plantes a été étudiée par Bonnier cité par RABIET [14], les principaux résultats indiquent que cette puissance nectarifère présente des variations :

- Variation de la puissance mellifère selon l'intensité de butinage: sous l'influence de l'intensité de butinage, la fleur répond en augmentant son offre de nectar; mais passé en certain seuil, il y a effondrement et arrêt de sécrétion. Ce qui explique que la fleur visitée par les abeilles en produit plus que celle qui ne l'est pas. Cette intensité influe aussi sur la composition en sucres du nectar.
- Variation de la puissance mellifère pendant la journée: durant la journée, le volume du nectar d'une même fleur diminue peu à peu jusqu'aux environs de trois heures de l'après midi. Par la suite, il augmente progressivement dans la soirée, et ce jusqu'au levé du soleil. Des résultats montrent qu'au moment où l'air est sec, le volume du nectar est faible.
- Variation de la puissance mellifère selon les conditions environnementales: une même plante peut être mellifère dans une contrée et ne pas l'être dans une autre. Certains auteurs attribuent cette différence à l'altitude et à latitude, d'autres à la nature du sol, au climat et aux conditions météorologiques.

Une espèce nectarifère sécrète du nectar lorsqu'elle vit dans les conditions qui sont celle du milieu où la sélection naturelle l'a créée ; dans les conditions différentes la sécrétion est moindre et peut même être nulle [14]. Pour recueillir un litre de nectar, on estime qu'il faut entre 20 000 et 100 000 voyages des abeilles [8].

1.2. Facteurs agissant sur la sécrétion nectarifère

RABIET [14] et LOUVEAUX [8] signalent que la production nectarifère d'une plante dépend de nombreux facteurs :

- La dimension de la fleur influence la dimension et le nombre des nectaires: les grandes fleurs possèdent généralement un plus grand nombre de nectaires et, par conséquent, un nectar plus abondant ;
- La position de la fleur sur la plante: la partie haute de l'inflorescence possède souvent des fleurs plus petites qui produisent moins de nectar ;

- La durée de floraison : la valeur d'une plante mellifère et son attractivité pour les abeilles dépendent de la quantité de sucres sécrétés pendant la floraison ;
- Le sexe de la fleur: c'est le cas de certaines plantes dioïques ou monoïques où la production de nectar est plus importante chez des fleurs mâles des Saules par exemple (plante dioïque), cette production est plus forte chez les fleurs femelles des espèces monoïques telles que chez les *Cucurbitaceae* (melon, potiron, courgette).
- Les facteurs génétiques: Il existe des différences de production entre les variétés cultivées de certaines plantes, notamment chez les arbres fruitiers,
- L'âge de la fleur: la fleur a une production de nectar variable en fonction des stades de la floraison comme c'est le cas du marronnier (les 6 premiers jours), du tilleul (production plus importante chez les vieilles fleurs), de la ronce (les soixante premières heures);
- La fécondation de la fleur: la fécondation provoque la diminution ou l'arrêt de la sécrétion nectarifère.

1.3. Relation entre l'abeille et la flore

Le butinage constitue la principale activité des ouvrières à l'extérieur de la ruche. Il consiste en la récolte du pollen, du nectar, d'eau et de propolis. Selon Louveaux [8] le butinage est lié surtout au processus de nutrition car, le pollen et le nectar récoltés conditionnent le développement de la colonie d'abeilles.

Les abeilles, en tant qu'insectes pollinisateurs, payent leur nourriture prélevée aux fleurs en effectuant la pollinisation en provoquant ainsi la fécondation [12]. Sur la base de ce bénéfice réciproque, RABIET [14] explique dans ses travaux, les relations établies et diversifiées entre les angiospermes et l'adaptation de l'abeille et de la fleur au butinage.

1.3.1. Adaptation de l'abeille au butinage

1.3.1.1. Adaptation des pièces buccales

D'après LOUVEAUX [15], l'appareil buccal de l'abeille comprend des pièces essentielles adaptées à l'activité du butinage. Ces pièces sont du type broyeur-lécheur, adaptées à la récolte de liquides comme le nectar ou le miellat. Elles sont composées de plusieurs éléments :

- Les mandibules, puissantes, ont de multiples fonctions, telles que la préhension de matières solides, le travail de la cire, la récolte et le travail de la propolis et la défense contre les ennemis de moindre taille.
- Les maxilles, palpes labiaux et la langue (ou glosse). Ils forment un ensemble (trompe) mobile et extensible, replié sous la tête au repos et étendus lorsque l'abeille prélève un liquide. Les maxilles, soudés l'un à l'autre, constituent une sorte de gouttière dans laquelle est glissée la langue qui peut être étirée pour aspirer de la nourriture. La pilosité de la langue et son extrémité en forme de cuillère (cuilleron) permettent de recueillir de petits volumes de liquide qui monte par capillarité jusqu'à la gouttière linguale fermant le voile du palais pendant la succion. Si l'abeille ouvre sa gouttière linguale, elle peut offrir à ses compagnes le contenu de son jabot. La longueur de la trompe permet de différencier les races d'abeilles [16].

Les diverses parties de l'appareil buccal différent selon les différents individus de la ruche, la langue est très courte chez la reine et le mâle, ce qui ne leur permet pas de s'alimenter directement. Par contre, cet organe est développé chez l'ouvrière vu l'importance capitale de son travail qui est l'apport de l'alimentation à la ruche [15,16].

1.3.1.2. Adaptation du tube digestif

L'appareil digestif de l'ouvrière adulte comprend une série d'organes formant un tube continu de la bouche à l'anus et dans lequel les aliments subissent l'action des sucs. WINSTON [16] distingue successivement : l'hypo pharynx, le pharynx, l'œsophage et le jabot. Ce dernier est une poche très mince extensible servant au transport des liquides (eau, nectar, sirops etc.), sa capacité est de l'ordre de 40 mm^3 . D'après ce même auteur, le tube digestif est associé à un système glandulaire complexe constitué de glandes salivaires. Ces dernières sont composées de :

- Glandes hypo pharyngiennes: chez les nourrices et chez les abeilles âgées, ces glandes sont situées dans la tête pour la production de la gelée royale.
- Glandes mandibulaires : elles servent à la production d'une autre fraction de la gelée royale et elles interviennent dans le travail de la cire.

- Glandes labiales (post cérébrales et thoraciques): elles débouchent à la base de la langue et servent à en saliver les sucres.

1.3.1.3. Adaptation des pattes postérieures

L'abeille comporte 3 paires de pattes. Pour le butinage, toutes les pattes sont utiles, mais à des degrés divers. Les deux paires antérieures, munies de « brosses » servent à rassembler le pollen éparpillé sur tout le corps et à le diriger vers la paire postérieure. Cette dernière est équipée de peignes et de brosses, d'une pince pour comprimer le pollen et d'une corbeille munie d'un long poil en éperon qui sert à fixer la pelote du pollen. Les glandes situées dans les coussinets des pattes déposent des phéromones sur les fleurs visitées, elles permettent aux autres abeilles d'identifier la source du pollen [15, 16].

1.3.1.4. Adaptation des yeux et de la vision

L'abeille possède deux grands yeux composés, situés de part et d'autre de la tête. Chacun de ces yeux est formé par la juxtaposition d'un très grand nombre d'yeux simples appelés ommatidies. L'abeille possède aussi trois ocelles, qui sont des yeux simples disposés en triangle sur le sommet de la tête. Le rôle des ocelles est de mesurer l'intensité lumineuse (variations à laquelle elles sont très sensibles), ce qui leur permet de signaler le lever ou le déclin du jour, les passages nuageux et les éclaircis, ils fonctionnent comme des cellules photo-électriques [16].

LOUVEAUX [15] signale que le spectre de vision de l'abeille, contrairement à celui de l'homme qui s'étend du violet au rouge (400 à 800 nm), présente un décalage vers de courtes longueurs d'ondes (30 à 650 nm) autrement dit, aveugle au rouge. Malgré ce fait, dans la nature, un bon nombre de fleurs rouges sont très visitées par les abeilles, tel que le coquelicot qui est recherché pour son pollen. Il semblerait que l'abeille voit la couleur rouge en ultraviolet.

1.3.1.5. Adaptation des antennes

L'abeille possède des antennes qui se comportent en capteurs d'odeurs, de températures, de vibration et même de goût. L'antenne comporte trois parties: le scape, le pédicelle et le flagelle qui comprend onze articles. Chaque portion de l'antenne porte des organes (plaques ou sensilles) dont les fonctions sont variées. Grâce à ces antennes, l'abeille peut communiquer avec ses congénères; elle peut se déplacer dans l'obscurité de

la ruche, reconnaître le parfum des fleurs, l'odeur du miel ou celle d'une étrangère dans la ruche [8, 16].

1.3.1.6. Adaptation au goût

Le sens du goût est bien développé chez l'abeille qui distingue le sucré, l'acide, l'amer et le salé. Ce sens est lié à différents endroits du corps et le goût se manifeste de différentes façons [8]:

- Le goût oral, localisé dans la cavité buccale,
- Le goût tarsal dans les tarsi, à l'extrémité des pattes,
- Le goût antennaire dans les huit dernières articulations de l'antenne.

Les sensibilités de l'abeille sont différentes ainsi, LOUVEAUX [15] signale que le lactose qui a un goût sucré pour l'homme, ne l'a pas pour elle. En outre, ses capacités gustatives dépendent de son âge et de son état physiologique et de sa nutrition en particulier.

1.3.1.7. Adaptation au sens de l'orientation

Il existe de nombreuses plantes qui ne donnent du nectar et du pollen qu'à un moment déterminé de la journée. L'abeille, grâce à son sens inné du temps, est capable de retrouver chaque jour et au moment opportun les plantes mellifères ouvertes et prêtes à livrer leurs produits. Ceci a beaucoup intrigué de nombreux chercheurs, certains supposent l'existence de repères externes, tel que la position du soleil dans le ciel, ou l'existence d'une horloge interne biologique indélébile et indéréglable [10].

1.3.2. Adaptation des plantes à fleurs au butinage

L'adaptation des plantes à fleurs au butinage s'exprime de plusieurs manières [13].

1.3.2.1. Adaptation structurale

La condition primordiale [13] assurant la constance et la régularité des rapports fleurs-pollinisateurs est la présence du pollen ou du nectar (la ressource alimentaire recherchée par ce pollinisateur). A cette condition s'ajoutent les facteurs de morphologie florale permettant l'accès facilement aux ressources exploitables (forme de la fleur, pollen adhésif et pulvérulent) tels que :

- La disposition profonde des nectaires ultra floraux et des étamines,

- La structure du stigmate (présence de papilles),
- L'existence d'un synchronisme physiologique entre l'anthère (maturité des anthères, libérations du pollen et réceptivité des stigmates) et la sécrétion de substances odorantes et attractives ou des nectars,
- La structure florale adaptée à la pollinisation croisée en évitant l'autogamie,
- L'existence d'un synchronisme écologique s'impose entre la plante et son pollinisateur telle que la phénologie florale et le rythme d'activité du pollinisateur; leurs exigences écologiques doivent être très proches ou identiques autrement dit le même biotope [14].

1.3.2.2. Adaptation spectrale et olfactive

L'odeur et la couleur de la fleur jouent un rôle important comme stimuli attractif pour les abeilles [13]. Le goût, la composition chimique du pollen et du nectar, notamment la concentration et la qualité du sucre du nectar, la concentration en azote du pollen, déterminent la préférence et le choix des abeilles pour l'une ou l'autre fleur [11].

1.3.3. Particularités florales adaptées aux abeilles

Pour trouver leur source de nourriture, les abeilles butineuses prospectent leur environnement floral et le communiquent entre elles au retour à la ruche à travers un système de "dances" décrites pour la première fois par VON FRISCH en 1920 cité par PLET [17].

PESSON et LOUVEAUX [10] nomment la « Méliittophilie » l'ensemble des particularités florales caractérisant les fleurs spécialement ou spécifiquement visitées par les abeilles. D'après ces auteurs, le type floral adapté aux abeilles et aux bourdons est en général à symétrie bilatérale, autrement dit les fleurs zygomorphes. La corolle étant profonde favorise l'atterrissage. Les abeilles peuvent visiter des fleurs du type ouvert, mais elles rencontrent la concurrence d'autres insectes. Par contre BIRI [18] trouve qu'elles effectuent autant de visites positives sur les fleurs fermées que sur les fleurs ouvertes.

Les couleurs les plus appréciées sont les jaunes et les bleues [10]. La couleur de la fleur sert à repérer une prairie par exemple. Les parfums de fleurs seraient un repère olfactif supplémentaire, ils constitueraient les éléments décisifs qui font que les abeilles reconnaissent la fleur recherchée comme source alimentaire [14].

Les cellules sécrétrices d'essences volatiles (odeurs) sont éparses sur le périanthe, elles peuvent parfois se regrouper et être portées dans les organes floraux spéciaux appelés «Osmophores». Les odeurs agréables proviennent des terpènes et des composés aromatiques volatils; alors que, celles qui sont désagréables sont dues aux amines et indoles [19]. Les fleurs visitées par les abeilles ont des guides nectarifères bien marqués, et les étamines sont disposées de façon à déposer le pollen sur la tête ou le dos de l'insecte visiteur (fleurs notatribes) ou sur des brosses ventrales (fleurs sténotribes) [10].

Les fleurs secrètent beaucoup de nectar au moment de la visite des abeilles, le matin et le soir. Les nectars préférés sont ceux qui sont faciles à récolter ou ceux ayant un goût plus agréable et à concentration en sucre voulue [19]. Les abeilles préfèrent les plantes qui fournissent à la fois du pollen et du nectar ainsi que celles qui existent en peuplements denses [9].

1.3.4. Caractéristiques du butinage chez l'abeille

1.3.4.1. Sélectivité et constance florale

Selon BOCQUET [20], lorsque la miellée est très faible, les abeilles visitent relativement toutes les espèces en fleurs en même temps. Mais, dès que la miellée augmente, elles abandonnent immédiatement les fleurs de moindre qualité nectarifère et celle dont il est plus difficile à récolter le nectar. Selon le même auteur, si les premières fleurs visitées cessent de sécréter le nectar, elles vont rapidement sur d'autres fleurs plus nectarifères. D'autre part, l'auteur signale que les abeilles ne vont chercher le miellat que lorsque le nectar et le pollen floral manquent, et pour cela elles effectuent un choix. Elles préfèrent le miellat de chêne à celui du noisetier ou le miellat de pucerons du tilleul au miellat végétal âcre et résineux du peuplier. En ce qui concerne la récolte du pollen, l'abeille observe une constance florale car selon WINSTON [16], si l'abeille récolte des pollens différents, il ne lui serait pas possible de les confectionner en pelotes, vu leur morphologie différente même si cela serait profitable pour elle.

Selon BRIANE [21], les abeilles sont capables d'effectuer des discriminations entre les différentes sources glucidiques et d'optimiser l'exploitation de la source alimentaire la plus favorable pour la colonie, et cela grâce à leur aptitude d'associer à la valeur de l'aliment différentes caractéristiques du végétal (localisation, arôme, couleur, forme) et de mémoriser l'ensemble de ces signaux; ce comportement conduit à un butinage sélectif.

1.3.4.2. Lois du butinage

On peut définir le butinage de l'abeille comme une exploitation systématique, rationnelle et presque industrielle, d'une espèce de fleur déterminée au moment de sa pleine floraison. L'abeille garde en mémoire l'architecture de la fleur, sa couleur, son odeur. Elle se déplace régulièrement d'une fleur à l'autre en reproduisant exactement les mêmes mouvements pour collecter le pollen et le nectar. Cette organisation permanente du travail à la chaîne lui permet de raccourcir ses temps de visite et de porter au maximum sa capacité productive [16, 22].

A la sortie de la ruche, l'abeille peut aller récolter de l'eau, du nectar, du pollen ou de la propolis. Son choix va résulter des besoins de la colonie et de différents facteurs de l'environnement. Bien qu'il soit très compliqué d'établir des règles précises, WINSTON [16] signale les quatre constantes qui constituent les lois du butinage:

1. La récolte du nectar est prioritaire sur les autres récoltes, car les besoins en nectar sont continus,
2. La récolte simultanée de nectar et de pollen est réalisée chaque fois que la possibilité existe, c'est la règle du rendement maximum,
3. La récolte exclusive d'eau, de pollen et de propolis ne s'effectue qu'en cas d'urgence,
4. Le butinage d'une espèce de plante s'effectue normalement jusqu'à l'épuisement des ressources, c'est le phénomène que VON FRISCH [22] a appelé la constance des abeilles.

La récolte du nectar et du pollen est réalisée simultanément sur une fleur déterminée, elle dépend essentiellement de la configuration de la fleur, de la qualité et de la quantité de pollen. Ainsi, il y a généralement une récolte simultanée lorsque le pollen est en contact avec les pattes de l'abeille; c'est notamment le cas chez le cerisier (*Rosaceae*) et le colza (*Brassicaceae*). Lorsque le pollen est en contact avec le dos de l'abeille, la récolte simultanée est inexistante, c'est le cas du robinier et du thym [23].

1.3.5. Rôles des phéromones dans le butinage

Les phéromones, notamment celles contenues dans la substance royale sécrétée par les glandes mandibulaires de la reine, sont essentielles pour le maintien de la structure

sociale de la colonie. Ces molécules sont essentiellement constituées d'acides gras jouant de multiples rôles: sexuel, social, d'alarme, de trace et de marquage territorial [15]. Pour le phénomène du butinage, les phéromones de la substance royale stimuleraient l'activité des ouvrières. Des colonies privées de la reine ou de la phéromone montrent une baisse de l'intensité du butinage. Les substances produites par la glande de Nassenoff interviennent aussi dans divers stimuli sociaux : marquage des sources de nourriture attractives, entrée de la ruche et le lieu d'essaimage [16]. Le butinage apparaît comme un phénomène complexe qui est déterminé par un grand nombre de facteurs propre à l'abeille, à l'espèce de fleur visitée et aux données de l'environnement.

1.3.6. Facteurs influençant la dimension de l'aire de butinage

Selon SEELEY [24], les butineuses d'une colonie exploitent les ressources de nourriture jusqu'à une distance maximale de 12 km. Néanmoins, plus la distance est importante, moins l'activité est rentable. Lorsque la dépense énergétique dépasse l'apport pour la colonie, le bilan est négatif. Dès lors, dans des conditions normales, on considère que 80 à 90 % des butineuses travaillent à moins de 3 km de la ruche. Ce même auteur signale que les colonies vivant à l'état sauvage ont des butineuses qui travaillent par routine jusqu'à 6 km du nid. Selon BRUNEAU et SCHUL [23], l'aire du butinage varie considérablement avec les facteurs environnementaux (température, hygrométrie, vent, pluie, éclaircissement); les abeilles ne sont en activité qu'à partir de 12°C à 14°C et, au dessus de 18°C, les vols et les butinages sont importants. Le climat a un effet sur l'aire de butinage, ce périmètre est réduit de quelques centaines de mètres lorsque les conditions climatiques sont défavorables. Il ajoute que l'humidité de l'air favoriserait le butinage car elle augmenterait la sécrétion nectarifère [19].

Les abeilles visitent les plantes éclairées en suivant le tour du soleil; les vents limitent l'aire de butinage, car l'abeille réduit considérablement son activité lorsque la vitesse du vent atteint 15 km / h et cesse de voler totalement quand cette vitesse double [19]. Les fortes pluies, obligent les abeilles à rester dans la ruche [24]. La dimension de l'aire de butinage varie également avec la disponibilité florale. Selon SOUTHWICK et SCHREFLERE [25], l'abeille augmente son champ d'action lorsque les fleurs (nectar et pollen) ne sont pas disponibles sur place, MAURIZIO (1953) cité par YAKHLEF [26], en effectuant une étude de pollen il distingue trois catégories de plantes:

- Les plantes visitées le matin comme le colza, le coquelicot, la ravenelle...

- Les plantes visitées l'après-midi telles que la jacinthe des bois, la féverole...
- Les plantes visitées toute la journée comme les arbres fruitiers et le trèfle.

Le nombre de fleurs disponibles et la qualité du nectar et du pollen vont également influencer la distance de butinage. Plus l'environnement floral utile aux abeilles est riche, plus les distances de butinage sont courtes. D'autre part, La force de la colonie influencerait directement le nombre de butineuses qui pourront exploiter un périmètre. Plus ce nombre est élevé plus le nombre de fleurs visitées est important [9].

Selon BRUNEAU [27], les différents facteurs limitant (climat, qualité des ressources, force des colonies ou population) évoluent en fonction des saisons, ce qui influencerait le périmètre de butinage des abeilles. Le système de prospection de l'aliment d'une colonie d'abeilles est très performant. Ainsi, dans un rayon de moins de 3 km, une colonie est capable de trouver sans difficultés ses aliments.

D'après RABIET [16], l'ouvrière quitte la ruche pour aller chercher le nectar, emporte avec elle une quantité de nourriture proportionnelle à la durée estimée de son vol. Les résultats des travaux de BONNIER cités par RABIET [16], montrent que l'abeille prend 0.782 mg d'aliments pour une distance parcourue de 5m ; 1.610 mg pour 500m; 2.200 mg pour 1000m et 4.130 mg pour une distance de 1500m. Ces résultats montrent bien l'importance de la disponibilité florale au niveau du rucher. Aussi, la température influe sur le temps de chargement, par exemple à 10°C ou 12°C, elle met plus de temps à charger qu'à 20°C, vu que le miel est dense à cette dernière température [27].

D'autre part, PHILIPPE [28] a étudié la fréquence des vols de l'abeille pour aller chercher l'aliment. Il a observé pendant deux jours la régularité de ses voyages. De 6 h à 17 h, elle effectue en moyenne 10 voyages par heure, ce qui totalise 110 voyages pendant 11 heures.

2. ELABORATION DU MIEL ET DESCRIPTION DES PRINCIPALES METHODES D'ANALYSE DES MIELS

2.1. Définitions du miel

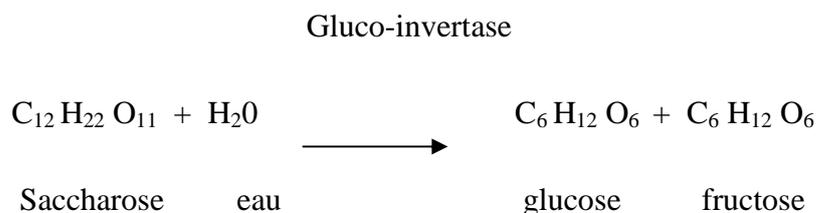
Le miel dérive du nectar des fleurs ou les sécrétions provenant des parties vivantes des plantes ou d'excrétions d'insectes butineurs laissées sur les parties vivantes des plantes. Les abeilles butinent ces produits, les transforment et les combinent avec des matières spécifiques qu'elles sécrètent et qu'elles emmagasinent et laissent affiner et mûrir dans les rayons de la ruche [29]. BOGDANOV et al. [30] signalent que le miel est un mélange complexe de composition variable suivant l'origine géographique et botanique. Ces définitions, affirment que le miel reste le produit délicat de l'abeille après plusieurs transformations.

De nombreux pays définissent le miel selon une certaine loi. Les définitions légales ont pour objet la protection du consommateur contre les différents types de pratiques de fraudes. Elles sont souvent accompagnées d'une description du produit qui fixe sa composition chimique moyenne.

La directive 2001/110/CE [6] du Conseil européen définit le miel comme étant la substance sucrée naturelle produite par les abeilles de l'espèce *Apis mellifera*. Le miel est composé essentiellement en différents sucres, surtout en fructose et en glucose, ainsi qu'en d'autres substances, telles que des acides organiques, des enzymes et des particules solides provenant de la récolte du miel. La directive limite les interventions humaines susceptibles de modifier la composition du miel et permet dès lors de préserver le caractère naturel du miel. En particulier, elle interdit l'addition de tout ingrédient alimentaire au miel, y compris les additifs alimentaires et toute addition autre que du miel. De la même façon, la directive interdit l'élimination de tout constituant propre au miel, y compris de pollen, sauf si une telle élimination est inévitable lors de l'élimination de matières étrangères. Ces exigences sont conformes à la norme pour le miel du Codex alimentaire [5].

2.2. Elaboration du miel

Le miel est un produit élaboré par les abeilles selon un processus de transformation [31]. Les abeilles ouvrières prélèvent le nectar ou le miellat qu'elles emmagasinent dans leurs jabots. A ce niveau, le saccharose est transformé en fructose et en glucose (sucres simples), selon la réaction chimique suivante qui se produit sous l'action de la gluco-invertase contenue dans leurs salives :



Au cours de la transformation, la teneur en eau de la solution sucrée est réduite de 50%. De retour à la ruche, les butineuses transfèrent leur récolte à des ouvrières d'intérieur. Ces dernières, par régurgitation successives complètent et terminent la transformation déjà commencées, puis vont dégorger ce liquide sur des grandes surfaces dans les cellules (alvéoles) disponibles dans les rayons de la ruche [8, 32]. Cette solution contenant environ 50% d'eau, va subir une nouvelle concentration par évaporation. Elle s'effectue sous la double influence : de la chaleur régnant dans la ruche qui est de l'ordre de 36 à 37 °C et de la ventilation qui est assurée par les ventileuses en créant un puissant courant d'air ascendant dans la ruche par un mouvement très rapide des ailes. Au bout de quelques jours cette solution contiendra en moyenne environ 18% d'eau et 80% de sucres. Cette solution représentera le miel stocké dans les cellules qui, une fois remplies, sont cachetées par un mince opercule de cire permettant ainsi, une excellente conservation [31, 32, 33].

2.3. Les différents types de miel

2.3.1. Miel de nectar ou de fleurs

Le miel de nectar ou de fleurs est le miel obtenu à partir des nectars des plantes. Le nectar est une substance sucrée issue des nectaires floraux ou extra floraux. Il se forme à partir de la sève élaborée des plantes [34]. Les hydrates de carbone constituent la fraction la plus importante du nectar; cependant plus sa concentration en sucres est élevée, plus le nectar est attractif pour les abeilles [35]. Les principaux constituants de nectar sont l'eau et les sucres. La nature des sucres a été étudiée dans de très nombreux nectars, surtout depuis l'introduction de la chromatographie sur papier [34]. Le nectar est composé

de trois principaux sucres : le saccharose, le glucose et le fructose. Les proportions de ces trois sucres varient d'une espèce florale à une autre, en influençant certaines propriétés des miels [36]. Le nectar contient aussi des acides organiques, des acides aminés, des protéines, des enzymes, des vitamines et des substances aromatiques [37].

Les miels mono floraux proviennent majoritairement d'une seule espèce végétale [31]. Cependant, il n'existe pas un miel rigoureusement monofloral; la présence d'une faible quantité de nectar d'autres espèces de plantes mellifères n'influe pas sur le parfum, la couleur et la saveur d'un miel où prédominent le nectar et/ou le pollen d'une seule espèce florale [8]. Les miels multi floraux Appelés aussi « miels de toutes fleurs » résultent de la récolte sur plusieurs espèces florales, sans prédominance [33, 38]. Ces miels sont les plus répons cependant, ils témoignent des fleurs les plus représentatives d'une région donnée [39].

2.3.2. Miel de miellat

Le miel de miellat est obtenu essentiellement à partir des sécrétions provenant des parties vivantes des plantes ou des excréments laissés sur les parties des plantes par les insectes suceurs (homoptères) tels les pucerons [32].

Le miellat des insectes est une substance qui a subi une première transformation. Il trouve son origine dans le phloème (transport de la sève élaboré). Cette sève transite dans le tube digestif des pucerons, qui en assimileront une partie et transformeront l'autre en y ajoutant leurs propres sécrétions. La partie non assimilée sera rejetée par ces homoptères et constitue le miellat [40, 32].

BOGDANOV et al. [30] signalent que le miellat présente une composition en glucides différentes de celle des nectars. Il signale la présence de glucose avec autres triholosides tel que le Mélizitose et autres sucres supérieurs. Le miellat contient aussi des dextrines, des gommes, des substances azotés, des sels minéraux, des acides et de vitamines [41]. Beaucoup de plantes produisent du miellat telles que les résineux (le sapin, le pin, le mélèze...), les feuillues (le tilleul, le châtaignier, l'érable) et certains arbres fruitiers (le cerisier, les chênes) [32].

2.4. Propriétés physico-chimiques des miels

Il est important de rappeler que les propriétés physico-chimiques des miels sont essentielles. Certaines participent à l'identification de l'origine florale d'un miel, d'autres déterminent sa qualité et sa stabilité dans le temps. Le recours aux analyses est indispensable pour déterminer ces propriétés. Les analyses des miels se pratiquent depuis fort longtemps et la liste des auteurs ayant travaillé sur ce sujet est importante.

La composition chimique d'un miel dépend principalement des sources de butinage. Elle varie en fonction de l'origine florale [41]. ZANDONELLA et al. [19] signalent que plusieurs facteurs peuvent influencer la composition chimique du miel tel que la nature du sol, les conditions climatiques, les conditions de stockage et la compétence des apiculteurs. La race d'abeille peut aussi influencer la composition chimique du miel [42].

A cause de la grande diversité des sources de nectar et/ou du miellat, des différences non négligeables peuvent exister entre les miels d'origines différentes. Par conséquent, il est difficile d'établir une composition moyenne du miel. Cette difficulté se trouve accentuée par l'utilisation de méthodes d'analyse non standardisées. A ce propos un projet européen a été élaboré pour standardiser les protocoles d'analyses des miels [43].

Généralement le miel contient des éléments majeurs et des éléments mineurs. L'eau et les glucides existent en fraction majoritaire dans les différents miels.

2.4.1. Teneur en eau

La teneur en eau du miel est une donnée analytique essentielle, elle conditionne sa conservation, son poids spécifique, sa cristallisation, sa saveur et, donc sa qualité [31]. GONNET et VACHE [44] signalent que le miel est un milieu réactif, il évolue, se transforme et se dégrade par rapport à sa teneur en eau. Des teneurs élevées pourraient être le résultat d'une récolte précoce et/ou d'un climat humide ; le miel risque ainsi de fermenter sous l'action des levures [45]. Les variations de la teneur en eau peuvent aussi affecter certaines propriétés physiques du miel telles que la viscosité et la cristallisation. En outre, LOUVEAUX [46] signale que la teneur en eau du miel provient essentiellement de l'humidité du nectar laquelle est influencée par de nombreux facteurs. Elle varie

beaucoup en fonction de leur origine florale, de la saison de récolte, de la technique de récolte, de l'intensité de miellée et de la force des colonies d'abeilles [8, 41]. Les valeurs les plus basses se situent aux environs de 14 % et les plus élevées à 25 %, l'optimum étant à 17 %. En dessous de 17%, le nombre de levures est si faible qu'il n'existe qu'un faible danger de fermentation ; les teneurs en eau élevées seraient dues à une récolte précoce des miels sous un climat humide [31]. Généralement, lorsque les abeilles operculent les contenants du miel au niveau des alvéoles, la teneur en eau de celui-ci est de l'ordre de 17 % à 18 % [39].

Le Codex Alimentaire [5] et la directive européenne du miel prescrivent une teneur en eau maximale de 21% [6]. Pour les miels de qualité, dans plus de 95% des cas, les contrôles chimiques effectués jusqu'à aujourd'hui ont montré que la teneur en eau est inférieure à 18.5%. Le laboratoire du CARI (centre apicole de recherche et d'information) en Belgique, préconise une teneur inférieure à 18% pour les miels de qualité.

2.4.2. Indice de réfraction

L'indice de réfraction est une propriété optique qui caractérise toute substance transparente. Il est en fonction de la teneur en eau et de la température. La mesure de la teneur en eau du miel est obtenue avec une simple goutte de miel parfaitement liquide au moyen d'un réfractomètre [31].

L'indice de réfraction de miel est d'autant plus élevé que sa teneur en eau est plus basse [31]. Cet indice varie de façon presque linéaire avec la teneur en eau, de telle sorte qu'il est possible de connaître rapidement cette teneur en mesurant l'indice de réfraction [8]. La table de CHATAWAY [47] donne directement la correspondance (Tab.2.1).

Tableau 2.1 : Table de CHATAWAY [47]

IR (20°C)	Teneur en eau (%)	IR (20°C)	Teneur en eau (%)	IR (20°C)	Teneur en eau (%)
1.5044	13.0	1.4935	17.2	1.4835	21.2
1.5038	13.2	1.4930	17.4	1.4830	21.4
1.5033	13.4	1.4925	17.6	1.4825	21.6
1.5028	13.6	1.4920	17.8	1.4820	21.8
1.5023	13.8	1.4915	18.0	1.4815	22.0
1.5018	14.0	1.4910	18.2	1.4810	22.2
1.5012	14.2	1.4905	18,4	1.4805	22.4
1.5007	14.4	1.4900	18.6	1.4800	22.6
1.5002	14.6	1.4895	18.8	1,4795	22.8
1.4997	14.8	1.4890	19.0	1.4790	23.0
1.4992	15.0	1.4885	19.2	1.4785	23.2
1.4987	15,2	1.4880	19.4	1.4780	23.4
1.4982	15.4	1.4875	19.6	1.4775	23.6
1.4976	15.6	1.4870	19.8	1.4770	23.8
1.4971	15.8	1.4865	20.0	1.4765	24.0
1.4966	16.0	1.4860	20.2	1.4760	24.2
1.4961	16.2	1.4855	20.4	1.4755	24.4
1.4956	16.4	1.4850	20.6	1.4750	24.6
1.4951	16.6	1.4845	20.8	1.4745	24.8
1.4946	16.8	1.4840	21.0	1.4740	25.0
1.4940	17.0				

IR : Indice de réfraction

2.4.3. Conductivité électrique des miels

La conductivité électrique (CE) est l'un des paramètres efficaces pour la distinction entre les miels de nectars et les miels de miellat et pour la classification des miels uni floraux [42]. Elle correspond à la mesure de la capacité d'un miel à transmettre un flux électrique ou conductance. La conductivité électrique est obtenue par la mesure d'une solution de miel à 20% de matière sèche à 20 °C. Elle est fonction de la teneur en matières ionisables, minérales ou organiques, capables de conduire le courant électrique [31]. L'unité de mesure est le milli siemens/cm (mS/cm).

Généralement, les miellats ont une conductivité électrique plus élevée que celle des miels de nectar ; aussi, la conductivité électrique est variable selon l'origine des fleurs. A cet effet, les miels des fleurs foncées sont plus riches en matières minérales ionisables, ils conduiraient plus le courant électrique que les miels des fleurs claires [30, 31, 48]. La conductivité électrique présenterait un bon critère pour la détermination de l'origine botanique du miel [45]; elle est indiquée régulièrement lors des contrôles de qualité par rapport à la teneur en cendre qui dépend de la teneur en minéraux et de l'acidité du miel.

Ces dernières sont d'autant plus élevées que la conductivité électrique correspondante est élevée [49].

Selon la directive européenne du miel [6], la conductivité électrique présente des valeurs extrêmement variables suivant le type de miel. Les miels de nectar présentent des valeurs inférieurs à 0,8 mS/cm, les miels de miellat leurs valeurs sont supérieurs à 0,8 mS/cm. Certains miels cependant transgressent cette règle. Le miel de châtaigner peut atteindre des valeurs supérieur à 0,8 mS/cm.

2.4.4. Hydroxyméthylfurfural (HMF)

L'hydroxyméthylfurfural est un composé chimique issu de la dégradation du fructose. L'apparition de ce composé est le résultat de la transformation des sucres simples, particulièrement du fructose, en Hydroxyméthylfurfural: 5-(hydroxyméthyl)-2-furaldéhyde (HMF) [49].

La mesure de l'HMF est réalisée par la méthode de Winkler en dosant les constituants du miel capables de réagir avec la para-toluidine et l'acide barbiturique dans des conditions déterminées. Un complexe de couleur rouge se forme entre les trois réactifs dont l'intensité est mesurée après 3mn à 550nm et la concentration d'HMF est déterminée par une droite d'étalonnage. Le résultat est exprimé en mg/kg de miel [50].

D'après GONNET [49], la chromatographie liquide à haute performance (H.P.L.C) permet également de déterminer la teneur en H.M.F des miels à une absorbance de 285nm. Cependant, MARCEAU et al [51] signalent que l'HMF n'est pas un composant naturel des miels mais, il se retrouve presque toujours à l'état de traces plus ou moins importantes. La concentration en H.M.F constitue un indicateur de dégradation ou de fraîcheur du miel. Il proviendrait du lent vieillissement ou de mauvaises conditions de stockage du miel, donc plus sa teneur est faible, meilleur est le miel. Egalement, le dosage d'H.M.F permet de détecter si le miel a été chauffé (dénaturé) ou non [50]. Une acidité élevée et une teneur en eau élevée favoriseraient cette transformation ; mais l'excès de chaleur et un entreposage prolongé sont des facteurs encore plus importants dans ce processus [51].

La norme du Codex alimentaire [5] et celle de la commission européenne du miel indiquent un taux maximal de 40 mg/kg; une valeur maximale plus élevée (80 mg/kg)

pourrait être atteinte dans des pays à climat tropical, et la teneur en HMF augmenterait rapidement avec la durée de stockage [6].

2.4.5. Glucides

Les glucides (hydrates de carbone) constituent la partie la plus importante du miel. Ils représentent 95 % de la matière sèche du miel [8, 31]. Les miels contiennent une vingtaine de glucides différents, mais ils ne sont jamais tous présents à la fois. La composition en glucides des miels dépend essentiellement sur leurs origines botaniques [52]. L'étude des glucides dans le miel est l'élément clé permettant de vérifier la validité de certaines appellations. Le codex alimentaire et la directive européenne indiquent que la somme des concentrations du glucose et du fructose ne doit pas être inférieure à 60% pour les miels de nectars et à 40% pour les miels de miellat ou de mélanges nectar miellat [53]. Les autres sucres, qui généralement ne sont pas tous présents dans un même miel, peuvent se trouver à l'état de très petites quantités ou sous forme de traces. Selon COTTE et al. [54], à ces monosaccharides s'ajoutent d'autres di, tri et polysaccharides essentiellement le saccharose et le maltose, et le taux de saccharose varie de 1 à 10 % pour certaines espèces de *Citrus*, *Hydesarum*, *Lavandula*, *Medicago*, *Robinia*. Pour le maltose il peut se trouver à hauteur de 7,5%. Pour les miels de qualité, la directive de l'union européenne et le codex alimentaire recommandent une teneur de saccharoses inférieure à 5% [53, 54]. Le miel peut contenir de nombreux autres polysaccharides tels que mélizitose, l'érlose, le rafinose, le turanose, le tréalose avec des teneurs ne dépassant pas les 2% [33].

Les teneurs en sucres peuvent être déterminées par plusieurs méthodes telles que leur dosage par voie enzymatique proposé en 1970 par BERGMAYER et al cité par GONNET [55]. Cette méthode est rapide et permet le dosage en même temps du glucose et du fructose. Les techniques chromatographiques [53, 56] constituent des méthodes universelles pour le dosage des différents sucres dans les miels. La législation française admet que la somme des concentrations du glucose + fructose ne doit pas être inférieure à 60% pour les miels de nectars et à 40% pour les miels de miellat ; la teneur en saccharose doit être inférieure à 5% exception faite pour les miels d'acacia, de luzerne, de lavande, d'eucalyptus, d'hédysarum, d'agrumes, de banksie et de bourrache [53].

Les monosaccharides, glucose et fructose représentent ensemble la fraction la plus importante qui peut atteindre jusqu'à 80 % de tous les glucides présents dans le miel [8]. Les disaccharides les plus importants sont le maltose et le saccharose, ils peuvent atteindre

selon GONNET [31], une moyenne respectivement 7,3 et 1,3% du poids du miel. BOGDANOV et al [43] signalent que le maltose peut se trouver à hauteur de 7,5%. Pour le saccharose les normes de qualité de la directive européenne [6] indique une valeur maximale de 5%, à l'exception de certains types de miels tels que les miels de lavande, d'oranger et d'eucalyptus qui peut contenir jusqu'à 10% de saccharose. Les tri et polysaccharides représentent 1,5% du poids des miels. Le miel peut contenir de nombreux polysaccharides tels que mélizitose, l'érlose et le raffinose avec des teneurs qui ne doivent pas dépasser 2% [54].

L'origine de certains di, tri ou polysaccharides est bien établie. A titre d'exemple, le mélizitose détecté dans certains miels de miellat résulte de la transformation du saccharose par les enzymes des pucerons. Le maltose, l'iso maltose, le turanose le gentibiose et l'érlose sont formés par transglucosilation réalisée sous l'action de α -glucosidase sécrétée par les glandes hypo pharyngiennes des abeilles. Ces réactions enzymatiques complexes conduisent aussi à la modification du rapport glucose/fructose [57].

2.4.6. pH et Acidité des miels

Le pH d'un miel est mesuré en solution dans l'eau à 10 % mv (masse volumique : 10g de miel dans 100ml d'eau) à l'aide d'un pH- mètre [8]. Il se situe entre 3,5 et 4,5 pour les miels de nectars et entre 4,5 et 5,5 pour les miels de miellats [49].

Tous les miels contiennent des acides libres ou combinés sous forme de lactones, L'acidité libre est l'acidité titrable par l'hydroxyde de sodium jusqu'au pH du point équivalent (pHe). Elle est exprimée en milliéquivalent (meq) d'hydroxyde de sodium nécessaire pour porter 1000g de miel à pHe ; elle ne doit pas être supérieure à 50 meq/kg [5]. L'acidité due aux lactones correspond à l'acidité combinée non titrable directement. Elle est obtenue par l'ajout d'un excès d'hydroxyde de sodium à la solution de miel en déterminant cet excès par un titrage en retour par l'acide sulfurique. L'acidité totale est la somme de l'acidité libre et de l'acidité combinée.

La connaissance de cet indice renseigne sur la stabilité et la conservation du miel, elle fournit une bonne indication sur l'origine du miel. En plus, c'est l'un des facteurs qui contribuent à renforcer ou à ralentir la dégradation naturelle du miel [45].

2.4.7. Autres constituants des miels

Les miels contiennent d'autres constituants en faibles quantités tels que certains pigments (caroténoïdes et flavonoïdes), des substances aromatiques qui sont des mélanges de plusieurs composés dont les alcools (éthanol, butanol, propanol), les cétones, les esters les acides, les acétates et les aldéhydes. Les lipides sont aussi des composés rares dans le miel, leur origine la plus probable est la cire d'abeille [45].

Les miels sont généralement très pauvres en acides aminés. GONNET [31] et DONADIEU [33] rapportent que ces matières azotées sont d'origine animale et végétale. Les protéines les plus répandues dans les miels sont les enzymes provenant essentiellement des sécrétions salivaires de l'abeille dont les principales sont des amylases (et), la gluco- invertase et la gluco – oxydase et la catalase. L'intérêt porté à certaines de ces enzymes provient de leur utilisation possible comme indicateur de l'état de conservation du miel.

Le miel contient des acides organiques libres ou combinés sous forme de lactones dont le principal est l'acide gluconique qui provient de l'action de glucose oxydase secrété par les abeilles. D'autres acides fixes d'origine végétale sont présents tels que les acides citrique, malique, oxalique, formique et lactique succinique, les acides phénoliques acides fixés d'origine végétale, responsables de la perception de l'arôme naturel des miels [44].

Différents auteurs trouvent que la teneur moyenne en éléments minéraux est de l'ordre de 0,2 %. GONNET [31] affirme que le potassium est dominant dans tous les miels (environ 80 % de la matière minérale totale). Selon DONADIEU [33], d'autres éléments peuvent exister dans les miels exceptionnels tels que le sodium, le calcium, le magnésium, le chlore, le phosphore et le soufre. L'auteur souligne le rôle indispensable de ces éléments, même à doses infinitésimales, au niveau de nombreuses réactions du métabolisme; les miels les plus minéralisés sont de couleur foncée.

Les vitamines diffusent peu de la plante vers les nectars ou le miellat d'ou les quantités y sont insignifiantes. LOUVEAUX [46] estime que le miel est relativement pauvre en vitamines comparé à d'autres aliments ou au pollen, toutes les vitamines identifiées sont hydrosolubles, la plus importante étant la vitamine C avec une teneur variant de 0 à 30 ppm selon l'origine du miel. Les autres vitamines détectées sont la

riboflavine, la biotine et la thiamine ainsi que d'autres vitamines du groupe B. Il n'y a aucune vitamine liposoluble (A et D) [45].

2.5. Propriétés enzymatiques des miels

Le miel contient des enzymes (substances protéiques qui accélèrent une réaction biochimique). Leurs quantités varient en fonction de l'origine botanique du miel et de l'intensité de la miellée. Parmi les enzymes contenues dans le miel, celles qui donnent les renseignements les plus utiles sont :

- La saccharase, invertase ou gluco-invertase (glucosidase), joue un rôle essentiel dans la scission des molécules de saccharose,
- La diastase ou amylase qui provoquent la dégradation de l'amidon en donnant des dextrines puis du maltose.

Elles sont très sensibles à la chaleur et au vieillissement. Elles donnent une information plus précise que le HMF sur les chocs thermiques subis par le miel. La diastase résiste mieux à la température que la saccharase. Avec le vieillissement du miel, la teneur en diastases diminue progressivement et tend vers zéro comme l'on démontré de nombreux auteurs [46, 49, 58]. Cet affaiblissement intéresse aussi bien l'amylase que l'invertase. D'après GONNET [49], cette perte d'activité serait de l'ordre de 10 à 33% en un an et de 31 à 37,5% en deux ans pour l'amylase. L'invertase est encore plus fragile. Les résultats de l'activité de ces enzymes s'expriment en indice de saccharase (IS) et indice diastasique (ID).

2.6. Propriétés organoleptiques des miels

Les propriétés organoleptiques des miels permettent de décrire différents caractères du miel, elles donnent des indications sur la couleur, la texture, les odeurs, les arômes et les saveurs du miel. C'est une technique qui fait appel tout d'abord au sens de l'observation (couleur, propreté, homogénéité de la masse, défaut éventuel de cristallisation etc.). L'examen olfactif permet de déceler les odeurs et les arômes d'un miel. Enfin, la dégustation permet d'apprécier ses saveurs, d'en percevoir les différentes composantes (goût sucré, acidité ou amertume) et d'apprécier éventuellement la finesse de la cristallisation [58].

Selon leurs origines, les différents miels présentent des caractères visuels, olfactifs, gustatifs et tactiles particulièrement diversifiés [44]. D'après la directive INAO 2008 -02

[59] relative à la commission de l'examen organoleptique, l'examen organoleptique d'un produit est la fiche descriptive donnée par l'ensemble des perceptions sensorielles ressenties par le consommateur. Il peut ainsi apprécier ses qualités essentielles mais aussi ses défauts et intervient pour confirmer une appellation. Cependant, Il ne remplace pas les examens physico- chimiques et botaniques.

2.6.1. Les sensations visuelles

Les sensations visuelles sont recueillies par l'œil à partir de stimuli lumineux. La couleur d'un aliment dépend des radiations qu'il absorbe. La propreté, l'homogénéité, certains types de cristallisation défectueuses ou grosseur des cristaux font partie des critères visuels examinés pour un miel [60]. Un miel cristallisé, qui réfléchit en grande partie la lumière, apparaît plus clair que le même produit à l'état liquide [61].

2.6.1.1. La Couleur

La couleur des miels provient des matières pigmentaires, tels les carotènes ou les xanthophylles. Elle aurait pour origine des poly phénols du type flavonoïdes [62]. Le phénomène de la mélanisation des sucres au cours du vieillissement ou chauffage provoque une intensification de la couleur [58]. La couleur c'est le critère d'apparence commercialement le plus important. C'est le seul examen sensoriel qui, dans le cadre de la législation sur les miels, fait l'objet d'une codification précise. L'unité de référence est l'indice de Pfund [43].

La couleur se détermine généralement par comparaison entre la couleur de l'échantillon et celle d'une gamme de couleur de référence (Procédé Lovibond) ou par analyse de l'intensité lumineuse perçue au travers de deux prismes, l'un coloré servant de référence et l'autre de forme identique contenant l'échantillon de miel à analyser (procédé Pfund, color grader), l'intensité de la coloration s'exprime, pour le procédé Lovibond, par la désignation du numéro de filtre de référence (N° allant de 30 à 850). Pour le procédé Pfund, on utilise une mesure métrique, correspondant au déplacement lors de l'examen, du chariot portant les prismes dans l'appareil, exprimé en millimètre (11 à 140mm).

2.6.1.2. La granulation (cristallisation)

La cristallisation est un critère de l'analyse sensorielle des miels du domaine de l'apparence mais aussi du domaine tactile. Le visuel permet de porter une appréciation sur

la cohésion de la structure cristalline d'un miel. La cristallisation peut être complète ou partielle, elle peut être entière ou fractionnée, les cristaux peuvent être épais ou fins [55].

Selon GONNET [55], La cristallisation des miels est un phénomène très important car il influe sur la qualité du miel. Deux principaux facteurs peuvent intervenir dans ce processus, le rapport glucose/fructose et le rapport glucose/eau qui sont responsables en grande partie de la rapidité de cristallisation ainsi que la structure cristalline. Plus la teneur en glucose est élevée dans le miel, plus rapide sera la cristallisation ; un miel contenant plus de 28% de glucose se cristallise rapidement ; aussi, plus la concentration en fructose par rapport à celle du glucose (rapport fructose/glucose) est élevée, plus la cristallisation est lente [49]. En principe, le miel reste liquide au-dessus d'un rapport fructose/glucose proche de 1,3 [55].

Selon BRUNEAU [41], il existe une échelle de granulométrie qui présente une hiérarchie de cristallisation allant de 0 (miel totalement liquide) à 9 (cristallisation complète et dure). Les cristaux peuvent être facilement observés à l'aide d'un polarimètre ou simplement entre deux feuilles de plastique Polaroid, cependant, la cristallisation du miel est généralement appréciée par analyse sensorielle. En ce cas elle est simplement qualifiée de très fine, fine, assez grossière, homogène, irrégulière etc. Cette appréciation dépend de la discrétion de l'observateur.

2.6.2. Les sensations gustatives

Selon DECLERCK [60] Quatre saveurs sont considérées être fondamentales:

- la saveur acide: dans les miels tous les acides ne sont pas ressentis comme tels ; il n'existe pas de relation précise entre l'acidité perçue à la dégustation et le pH ou l'acidité totale du produit.
- la saveur amère: cette saveur est plus ou moins exacerbée dans certains miels tels, le châtaigné ou l'arbousier.
- la saveur salée : elle n'est pas perçue dans le miel qui est trop faiblement minéralisé.
- la saveur sucrée : elle est très ancrée dans le miel où le fructose, principal constituant sucré, possède un pouvoir sucrant deux fois et demi plus élevé que le glucose et une fois et demi que le saccharose. Le pouvoir sucrant n'est pas identique pour tous les miels. Il varie avec la composition des produits, mais également selon

les autres saveurs perçues (l'acide ou l'amère peuvent diminuer la saveur sucrée perçue).

Parmi les caractéristiques sensorielles gustatives qui permettent d'identifier les miels, la sucrosité est un caractère intéressant à apprécier, tout comme les qualités gustatives particulières telles par exemple, une saveur amère ou acide plus ou moins prononcée. Il est important de noter que le caractère sucré s'exprime si aucune autre saveur ne domine [61].

2.6.3. Les sensations tactiles

Les sensations tactiles sont perçues au niveau de la peau, des lèvres, du palais, des gencives ou de la langue, il s'agit d'une action mécanique. L'onctuosité, la fermeté de la masse cristalline et le type de granulation font parties des caractères recherchés pour un miel [63].

2.6.4. Les sensations olfactives

Elles sont très importantes dans la dégustation, il s'agit d'une modalité sensorielle très difficile à étudier. Une molécule volatile diffusant dans l'air peut être chargée d'un message odorant. L'odeur va provoquer une réaction des cellules de perception olfactives. Ces sensations sont perçues soit par voie nasale directe, il s'agit de l'odeur, ou par voie rétro nasale, on parle dans ce cas d'arômes [60].

Les sensations olfactives sont brèves et le phénomène d'adaptation est très important, dans la mesure où il est possible de déceler les odeurs secondaires après adaptation aux odeurs primaires les plus intenses. Un problème de volatilité des arômes peut également intervenir dans ce phénomène. L'étude des arômes du miel n'a pas encore été faite de manière très exhaustive ; néanmoins, quelques travaux récents apportent des informations et un éclairage nouveau dans ce domaine [61].

Une centaine de dérivés volatils divers ont été identifiés ou reconnus dans différents miels. On ne sait que peu de chose en revanche sur les combinaisons de substances volatiles qui conduisent à la spécificité aromatique d'un miel. Selon quelques informations, le méthyl- antranilate est le précurseur de l'arôme spécifique du miel des *Citrus*, quelques traces de cette même substance se retrouvent dans les miels de lavande. Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde se trouvent plus particulièrement dans les miels de colza

et de trèfle, ce qui peut expliquer une certaine sensibilité aromatique pour ces deux miels [64,65].

2.6.5. Les sensations chimiques diverses

Ces sensations ne sont sollicitées qu'exceptionnellement pour l'analyse sensorielle des miels. Ce sont parfois des causes naturelles qui déterminent ces stimuli. C'est le cas de l'astringence provoquée par des miels légèrement tanniques. Des causes accidentelles peuvent aussi déterminer ce type de sensation par exemple, l'âcreté ressentie en fond de bouche lorsqu'on déguste un miel à gout de fumée [61].

2.6.6. Description des principaux défauts éventuels d'un miel

GONNET et VACHE [44], signalent que les principaux défauts d'un miel peuvent être visuels, gustatifs ou olfactifs. Ils sont définis comme suit:

- les défauts visuels: pour tous les miels cristallisés ou liquides, il s'agit le plus souvent de cristallisations incomplètes ou hétérogènes, de granulations moyennes ou grossières formées de cristaux anguleux et souvent agglomérés, d'accidents post-cristallisation, telles les taches blanches ou marbrures et les séparations de phases, la présence d'impuretés, une fluidité excessive de l'échantillon, un manque d'homogénéité, une coloration anormale,
- Les défauts olfactifs : ils représentent généralement les odeurs parasites (fumée, phénol, miel cuit etc.) qui ont été communiquées accidentellement au miel ou sont apparues après dégradation naturelle du produit.
- Les défauts gustatifs : il s'agit des goûts défectueux dus à des substances étrangères au miel ou sont apparues à la suite de modifications du produit tel que l'arrière-goût âcre de fumée, goût métallique, acidité excessive provenant de fermentation, arôme du caramel produit par chauffage etc.
- Les défauts tactiles sont les défauts de cristallisation du miel (cohésion et type de granulations).

2.6.7. Analyse sensorielle

Le but de l'analyse sensorielle est d'apporter des informations complémentaires à d'autres analyses [66, 67]. En effet l'analyse chimique renseigne sur la composition globale

d'un miel, sa valeur alimentaire et diététique, mais tout cela est insuffisant pour définir et décrire un miel de manière complète. L'analyse sensorielle permet de faire la différence dans le domaine organoleptique et tactile et justifier la qualité d'un miel [61].

Toute la difficulté de l'analyse sensorielle réside dans le fait qu'aucun miel, même issu d'une origine florale déterminée, n'est identique, chaque fleur butinée communique une nuance, un goût et une odeur au miel. Par ailleurs, l'appréciation sensorielle globale d'un miel, et particulièrement l'appréciation tactile, pose un problème fondamental lié à la structure même des produits. Un miel en phase liquide et un miel cristallisé en structures diverses sont appréciés différemment. Pourtant il faut les comparer dans l'état où ils se trouvent au moment de la dégustation. C'est une difficulté technique très spécifique aux miels. Ce sont quelques unes des raisons pour lesquelles l'analyse sensorielle dans le domaine des miels est encore peu développée. Seuls les travaux de GONNET et VACHE [44] et ceux de l'équipe de PERSANO ODDO et al [65] ont mis des bases de description des miels mono floraux, ajoutant à cela les travaux du CARI depuis 1998.

L'évaluation d'une grandeur sensorielle complexe implique une méthodologie basée sur la recherche de la quantification de descripteurs appropriés. Cette méthodologie constitue l'analyse descriptive quantitative et se concrétise par l'établissement de profils sensoriels. Le but de ces profils est de décrire le produit à analyser de manière à lui donner une carte d'identité précise, reproductible et compréhensible par tous.

Tableau 2.2. Les sens intervenant dans l'analyse sensorielle des miels GONNET et VACHE [44].

Organe	Sens et sensation	Caractères perçus	
Œil	<ul style="list-style-type: none">) vision) sensation visuelle 	<ul style="list-style-type: none"> - couleur - fluidité - propreté - homogénéité d'ensemble - certains accidents de la cristallisation 	Aspect
Nez	olfaction (voie directe nasale) <ul style="list-style-type: none"> - sensations olfactives 	<ul style="list-style-type: none"> - odeur - parfum 	Gout ou flaveur
	olfaction (voie retro nasale) <ul style="list-style-type: none"> - sensations olfactives 	<ul style="list-style-type: none"> - arôme 	
	gustation <ul style="list-style-type: none"> - sensations gustatives 	<ul style="list-style-type: none"> - saveur ou gout proprement dit 	
Bouche	<ul style="list-style-type: none"> - réaction des muqueuses - sensibilité chimique 	<ul style="list-style-type: none"> - astringence, âcreté - acidité - brûlures 	Toucher
	sensations tactiles	<ul style="list-style-type: none"> - fermeté, onctuosité de la masse cristalline - granulation (épaisseur des cristaux) 	
	sensibilité thermique	<ul style="list-style-type: none"> - température 	

GONNET et VACHE [44] ont effectué différents tests relatifs à l'analyse sensorielle. Ces tests avaient pour buts d'apprendre aux dégustateurs de reconnaître et de mémoriser les différentes sensations olfactives, gustatives et tactiles, de définir et de vulgariser les principales références de la qualité sensorielle et de développer l'art de la dégustation du miel pour mieux apprécier sa qualité. Cette étude a permis de définir des critères et d'établir des normes sensorielles de la qualité d'un miel ; ainsi, un vocabulaire de

base utilisable pour une description sensorielle de tous les miels et un système d'évaluation chiffré ont été proposés. Egalement, des recherches effectuées en 1998 par le CARI ont permis la mise en place et la détermination du langage propre à l'analyse sensorielle des miels et une collection de référence organoleptique permettant à chaque dégustateur d'associer le même descripteur à une odeur donnée [60]. Généralement, les notes fruitées, florales, végétales, de beurre ou de caramel rencontrées dans les miels ont pu être apparentées à des références aromatiques. Aussi, PESANO ODDO et al [65] ont contribué pour une grande part au développement d'une méthode pour la caractérisation des miels notamment les miels mono floraux.

2.7. Propriétés polliniques des miels

LOUVEAUX [68], signale que les miels naturels dépourvus de pollen ne sont pratiquement pas connus du fait que ce pollen est d'origine diverse:

- Déversé sur les nectaires lorsque les anthères sont déhiscentes ;
- Transporté par le vent sur la fleur ou sur les miellats ;
- Apporté par simple contamination des nectars dans la ruche par le pollen en suspension dans l'atmosphère de cette dernière;
- Mélangé à d'autres produits au cours de la transformation par l'abeille lors des phases de régurgitation ou lorsque l'insecte brosse le pollen tombé sur son corps pendant ses activités de butinage en frottant les étamines.

BUREAU et SCHUL [23] signalent que les pollens sont des indicateurs précieux de l'origine florale des miels. Tous les miels contiennent des grains de pollen provenant des fleurs visitées par les abeilles. Ces grains sont distribués de façon homogène dans le miel et ils présentent une grande diversité de formes, de structures et d'ornementations dépendant directement du génotype de l'espèce visitée. Leur analyse microscopique est très précieuse pour déterminer l'origine géographique et botanique du miel [69].

La palynologie appliquée à l'apiculture ou la Méliissopalynologie est une discipline très ancienne puisqu'elle a ses origines dans les observations de PFISTER [70] sur la présence constante des grains de pollen dans les miels. Le terme «Méliissopalynologie» n'est apparu qu'en 1966 et c'est MAURIZIO qui lui a donné le statut d'une discipline scientifique moderne dont l'ouverture sur l'apiculture est de plus en plus prouvée [71, 72].

Selon BATTESTTI [69] et PLANCHAIS [73], l'analyse pollinique est un moyen de comparaison valable des miels. Elle permet, par exemple, de connaître les miels indigènes et de les différencier des miels étrangers. La Méliissopalynologie est donc une garantie de contrôle de qualité, de prévention et de répression des fraudes.

Le pollen fait partie des caractéristiques de composition du miel définies dans la directive 2001/110/CE [6]. Les éléments disponibles, y compris les données empiriques et scientifiques, confirment que les abeilles sont à l'origine de la présence du pollen dans le miel. Les grains de pollen tombent dans le nectar collecté par les abeilles. Dans la ruche, le nectar collecté chargé des grains de pollen est transformé en miel par les abeilles.

D'après certaines données, les pollens présents sous forme de traces seraient soit transportés sur les poils des abeilles, soit du pollen présent dans l'air à l'intérieur de la ruche, soit du pollen stocké par les abeilles dans des cellules et libéré à la suite de l'ouverture accidentelle de celles-ci au moment de l'extraction du miel.

Le pollen peut dès lors être considéré comme entrant dans la ruche en raison de l'activité des abeilles et il est naturellement présent dans le miel. Ainsi, l'ajout délibéré de pollen dans le miel par des exploitants du secteur alimentaire est une forme de falsification selon la directive 2001/110/CE [6].

2.7.1. Méthodes utilisées en méliissopalynologie

Depuis les travaux fondamentaux de ZANDER [74], un grand nombre d'examen microscopiques des miels a été fait dans beaucoup de pays. L'expérience ainsi acquise, rend souhaitable de donner une nouvelle version des « méthodes d'analyse pollinique des miels » publiées par la Commission Internationale de Botanique Apicole de l'Union Internationale des Sciences Biologiques UISB [75]. Le principe de ces méthodes repose sur le fait que tous les miels naturels contiennent en suspension, avant et après leur extraction, des constituants microscopiques dont les plus importants sont les grains de pollen provenant des fleurs [76, 77]. Par centrifugation de la solution de miel, les éléments présents peuvent être concentrés dans un très faible volume pour en confectionner des préparations dont l'examen microscopique apporte les informations sur son origine botanique et géographique, son mode d'extraction, sa souillure éventuelle par des matières insolubles dans l'eau, son état de conservation et son degré de filtration.

L'identification des pollens et autres éléments donnent des informations sur l'origine botanique et géographique du miel, sur le mode d'extraction et le degré de filtration du miel. Outre les grains de pollen, les miels naturels peuvent contenir en très faibles quantités des spores de champignons, des algues microscopiques, des levures, des grains d'amidon, des fragments d'insectes et des poussières atmosphériques [35]. L'abondance relative des levures renseigne sur l'état de conservation du miel, quant à l'abondance relative des poussières atmosphériques, des particules minérales, des fragments d'insectes ou des grains d'amidon renseignent sur la pureté du miel [78].

2.7.1.1. Méthodes classiques

La technique d'extraction et de montage des pollens a été codifiée par la Commission Internationale de Botanique Apicole sous la forme suivante:

Dix grammes de miel sont mis en solution dans l'eau chaude ($< 40^{\circ}\text{C}$) et centrifugé à 3000 tours/mn pendant 10mn. Après solidification complète du milieu, la préparation est lutée au baume du Canada [75]. Ces mêmes auteurs recommandent, pour les miels riches en colloïdes, de centrifuger dans l'eau acidulée (5g d'acide sulfurique par litre d'eau distillée) afin de permettre la dissolution d'une grande partie de ces colloïdes. Une autre méthode préconisée par LUTIER et VAISLERE [79] consiste en élimination de la plus grande partie des colloïdes ainsi que des petites particules qui gênent l'observation des grains de pollens, il semblerait que de nouveaux progrès soient possibles. D'après LOUVEAUX et al [75], les préparations obtenues présentent très souvent deux défauts: elles manquent de clarté (ce qui rend plus difficiles les observations) et elles se conservent mal.

2.7.1.2. Méthode d'acétolyse

Jusqu'en 1970, la Commission Internationale de Botanique Apicole de l'U.I.S.B, ne mentionnait pas l'acétolyse du miel parmi les méthodes de Méliissopalynologie. En 1967, VORWHOL [80] excluait l'acétolyse des méthodes d'analyse du miel. D'après l'auteur, ces méthodes prennent trop de temps et provoquent la destruction d'éléments accessoires tels que les algues, les levures, les fragments d'insectes intéressant pour l'étude du miel.

Les arguments de VORWHOL [80] demeurent valables pour l'étude des divers composants du miel, mais en Méliissopalynologie plusieurs faits ont rendu nécessaire l'application des méthodes de traitement acétolytique mises au point par ERDTMAN [81].

L'acétolyse seule, permet par la clarification des structures de la paroi pollinique qu'elle opère, une observation assez fine permettant la détermination des formes polliniques et l'identification des taxons inconnus et douteux [81]. Ce type de traitement permet une bonne conservation des préparations. La méthode de l'acétolyse peut se schématiser ainsi:

- Déshydratation du matériel par l'acide acétique pur ;
- Traitement au bain-marie du matériel dans un mélange des parties d'anhydride acétique et d'une partie d'acide sulfurique ;
- Lavages multiples par centrifugation.

2.7.2. Différents types d'analyses polliniques

BATESTTI [69] rapporte les différents types d'analyses qui peuvent être effectués : les spectres polliniques pour différencier les variétés de pollens présents, l'analyse pollinique pour différencier et compter les pollens (an nombre de 500). Ces pollens seront ensuite classés en pollens dominants, pollens accompagnements et pollens isolés et le calcul du pourcentage pollinique, calculer la densité et faire une analyse pollinique.

L'analyse quantitative, est parfois plus difficile du fait que la densité pollinique (le nombre de grains par unité de volume) et le pourcentage pollinique (nombre de grains d'une plante donnée par rapport à la densité pollinique) dépendent de la morphologie de la fleur, du nombre des étamines et de la quantité de pollen et de nectar. Ainsi, certaines fleurs (cas du châtaigner) donnent beaucoup de pollen alors que d'autres sont complètement stériles tels que le lavandin et le thym. Le robinier fournit quant à lui, un nectar abondant mais peu de pollen. Généralement les miels de miellat ne sont pas caractérisés par le pollen de la plante dont ils proviennent.

L'analyse pollinique quantitative d'un grand nombre d'échantillons de miels d'origine géographique et botanique différente a permis de classer les miel selon leur densité pollinique. Selon LOUVEAUX et al [75] cinq groupes sont définis:

- Groupe I représente les miels extrêmement pauvres en pollens, la densité étant inférieure à 20000 grains par 10 g de miels, cas des miels de robinier (*Robinia pseudiacacia*), de lavandin (*Lavandula vera* et *Lavandula latifolia*), de tilleul (*Tilia cordata*), d'oranger (*Citrus sp*), de luzerne (*Medicago sativa*).
- Le groupe II, comporte les miels à densité pollinique comprise entre 20000 et 100000 grains par 10 g de miel, cas de la plus part des plantes mellifères.

- Groupe III renferme les miels dont la densité pollinique est comprise entre 100000 et 500000 grains par 10 g de miel.
- Groupe IV et V ont des densités polliniques respectivement 500000 -1000000 et supérieures à 1000000.

Sur cette base, des pourcentages polliniques minimum ont été définis pour l'identification de l'origine botanique de certains miels mono floraux. Dans les miels du groupe III et ceux issus des plantes riches en pollen, le pourcentage pollinique doit être supérieur à 90%. Pour les miels du groupe I et de ceux issus de plantes où le pourcentage pollinique est faible, les normes suivantes ont été établies : 10- 20% pour les miels de lavandes et de citrus, de 20- 30 % pour ceux issues de tilleul et de salvia, supérieur à 30% pour ceux de robinier et de la luzerne. Dans le cas des autres miels, ils pourront être considérés comme mono floraux si le pourcentage pollinique est supérieur à 45% [82].

2.8. Facteurs essentiels de qualité et normes internationales

Un miel de qualité doit être un produit sain, extrait dans de bonnes conditions d'hygiène, conditionné correctement, qui a conservé toutes ses propriétés d'origine et qui les conservera le plus longtemps possible. Il ne doit pas être adultéré et doit contenir le moins possible de polluants divers, antibiotiques, pesticides, métaux lourds ou autres produits industriels [48].

La législation n'autorise aucun ajout dans le miel, malgré ça, les fraudes existent. En effet, le miel comme beaucoup d'autres produits n'échappe pas à ces pratiques qui déstabilisent les prix et la confiance des acheteurs [83]. Il existe différentes façons de falsifier le miel :

- L'ajout du sucre : l'ajout de sirop de sucre de composition proche du miel constitue une fraude que seul un bas prix du sucre rend possible.
- Le recyclage des miels dégradés : cette fraude consiste à faire passer des miels déclassés (miels destinés à l'industrie pour des miels de pâtisserie).
- Les fausses appellations: on donne une appellation mono florale ou géographique à un miel qui ne provient pas automatiquement de l'origine florale avancée ou bien de l'aire géographique signalée [27].

- D'autres façons de falsifier le miel est l'ajout de sel (augmentation de la conductivité du miel de forêt pour faire croire qu'il s'agit de miel de sapin), d'eau et de pollen, celles-ci sont toutefois de moindre importance.
- Les fraudes de nature botanique : ajout de grains de pollen dans le miel afin de modifier l'appellation.

Pour éviter de telles fraudes, il faut assurer une traçabilité du miel de son lieu de production jusqu'aux consommateurs. Lors d'un contrôle de routine du miel, on devrait déterminer l'activité enzymatique, la teneur en HMF, la conductivité et la teneur de proline.

En général, selon plusieurs auteurs [84, 85, 86] le miel falsifié a une activité enzymatique plus basse, une conductivité plus faible et moins de pollen que le miel authentique. Ces critères peuvent indiquer une falsification, ils ne suffisent toutefois pas à le prouver, étant donné que la variation de ces paramètres est très importante d'un miel à l'autre. Les teneurs en HMF et en proline sont plus fiables mais ne suffisent pas non plus à prouver une falsification. Certains produits obtenus par hydrolyse de l'amidon ont une teneur en hydroxy-méthyl-furfural plus élevée. C'est pourquoi le miel falsifié par de tels produits enregistre aussi une valeur HMF plus élevée [50]. Etant donné que le stockage et le chauffage du miel peuvent aussi induire une augmentation de cette valeur, elle n'est pas une preuve irréfutable d'une falsification.

Les critères de qualité du miel figurent dans la directive européenne [6] relative au miel et dans la norme pour le miel du Codex Alimentaire [5] qui sont toutes deux en révision permanente afin d'actualiser selon les données nouvelles en matière d'analyse des miels. Une commission internationale du miel (CIM) a été fondée en 1990 afin d'harmoniser les méthodes d'analyse et de proposer de nouvelles normes pour le miel. STEFAN BOGDANOV a présidé les travaux de la commission. Celle-ci a rassemblé les méthodes d'analyses usuelles utilisées pour le contrôle de routine du miel et a effectué des essais inter-laboratoires en collaboration avec la commission du miel du Manuel suisse des denrées alimentaires (MSDA).

Les méthodes ont été publiées par BOGDANOV et al [53]. En général, c'est la norme du Codex Alimentaire (Tab. 3) qui est valable pour le commerce mondial du miel, mais d'autres normes telles que la norme européenne pour le miel peuvent également être appliquées lorsque les exigences régionales en matière de qualité ne correspondent pas au Codex Alimentaire [5].

Tableau 2.3 : Normes concernant la qualité du miel selon le projet du Codex Alimentaire [5] et selon le projet de l'UE 96/0114 [6].

Critères de qualité	Projet du Codex-	Projet de l'UE
Teneur en eau		
- Général	20 g/100g	20 g/100g
- Miel de bruyère, de trèfle	23 g/100g	23 g/100g
Teneur en Glucose et en Fructose		
- Miels de fleurs	60 g /100 g	60 g /100g
- Miel de miellat ou mélanges de miel de miellat et de nectar	45 g /100 g	45 g /100g
Teneur en saccharose apparent		
- En général	5 g/100 g	5 g/100 g
- Faux acacia (<i>Robinia pseudoacacia</i>), sainfoin d'Espagne (<i>Hedysarum</i>), espèces du genre citrus (<i>citrus sp</i>), Luzerne (<i>Medicago sativa</i>), banksie de menzies(<i>banksia menziesii</i>), eucalyptus rouge(<i>Eucalyptus camadulensis</i>), dirca (<i>Eucryphia lucida</i>) et (<i>Eucryphia milligani</i>)	10 g/100 g	10 g/100g
- Lavande (<i>Lavandula sp</i>), bourache (<i>Borago officinalis</i>)	15 g/100 g	15 g/100 g
Teneur en matières insolubles dans l'eau		
- Général	0,1 g/100 g	0,1 g/100 g
- Miel pressé	0,5 g/100 g	0,5g/100 g
Acidité libre		

– En général	50 meq/kg	50 meq/kg
– Miel destiné à l'industrie		80 meq/kg
Indice diastasique		
– En général, à l'exception du miel destiné à l'industrie	8	8
– Miels avec une teneur enzymatique naturellement faible ex : miel d'agrumes)	3	3
Teneur en hydroxyméthylfurfural		
– En général	40 meq/kg	40 meq/kg
– Miel d'origine déclarée en provenance des régions tropicales et mélanges de ces miels	80 meq/kg	80 meq/kg
Conductivité électrique		
– Miel de nectar à l'exception des miels énumérés ci-dessous et des mélanges de ceux-ci; mélanges de miel de miellat et de nectar.	0,8 mS/cm	
– Miel de miellat et de châtaignier, à l'exception des miels énumérés ci-dessous et des mélanges de ceux-ci.	> 0,8 mS/cm	

2.9. Promotion des miels de qualité

La qualité d'un miel peut être déterminée à différents niveaux et par un ensemble de critères codifiables. C'est ainsi que l'on définit une appellation globale de miel en se référant à quelques normes avec des seuils au-dessous desquels le produit perd sa dénomination ou son label alimentaire. Le strict respect de cette norme n'est cependant pas une garantie de grande qualité pour le miel. Les résultats obtenus par quelques analyses physico-chimiques et polliniques visent à garantir surtout l'origine du miel (sucres, flore butinée par l'abeille) et de déceler des fraudes éventuelles.

Selon BRUNEAU [41] la définition des appellations florales et régionales sont nécessaires pour imposer des critères de qualité d'un miel. Pour les appellations florales, il suffit de définir un ensemble de normes physico-chimiques et sensorielle caractéristiques du miel mono floral à promouvoir et de posséder suffisamment d'échantillons représentatifs pour effectuer des moyennes statistiques. On détermine de la sorte des normes spécifiques de composition pour miels répondant à l'appellation recherchée. La législation française a répertorié et publié sept miels mono floraux: miel de colza, de romarin, de lavande, d'acacia, de sapin, des bruyères (callune et Erica). Il existe d'autres appellations mono florales : miels de tournesol, de trèfle, de tilleul, de châtaigner et d'oranger. Plusieurs recherches sont actuellement conduites visant à établir des normes spécifiques pour certains types de miels déjà reconnus et qualifiés. Les appellations non répertoriées sont plus difficiles à protéger.

Les appellations régionales multi florales sont plus complexes, il faut tout d'abord que la production mellifère de la région soit suffisamment importante, le produit à promouvoir doit avoir une certaine homogénéité après chaque récolte et doit présenter quelques particularités chimiques, biologiques et sensorielles. Ces caractères permettent de qualifier et de reconnaître un miel par une composition florale et sa provenance géographique délimitée soit suffisamment spécifique du terroir dont elle se prévaut. Cela suppose que la région considérée présente quelques particularités phénologiques [27].

L'acquisition de données nouvelles dans le domaine de l'analyse sensorielle des miels devrait beaucoup aider la promotion de produits régionaux spécifiques [67]. D'après DECLERCK [60], des caractéristiques locales très subtiles et particulières peuvent être révélées au cours d'un exercice de dégustation. Ainsi deux miels de même origine florale, mais récoltés en des lieux différents, ont des goûts certes identiques, mais ils n'ont pas toujours la même puissance aromatique [64]. Selon ces auteurs, la protection des produits régionaux ne sera assurée de manière efficace que lorsque l'on pourra déterminer et décrire de manière assez précise les différentes composantes aromatiques des miels.

3. CARACTERES DU POLLEN UTILISES POUR L'IDENTIFICATION DES MIELS

3.1. Définition du grain de pollen

Le grain de pollen (du grec palè : farine ou poussière) constitue l'élément fécondant mâle des plantes supérieures [87]. Les grains de pollens sont produits par milliers par les étamines des plantes à fleurs, ils se forment dans l'anthere à partir des cellules mères à noyaux diploïdes volumineux qui subissent deux divisions successives pour donner quatre cellules filles à noyau haploïdes groupé [10].

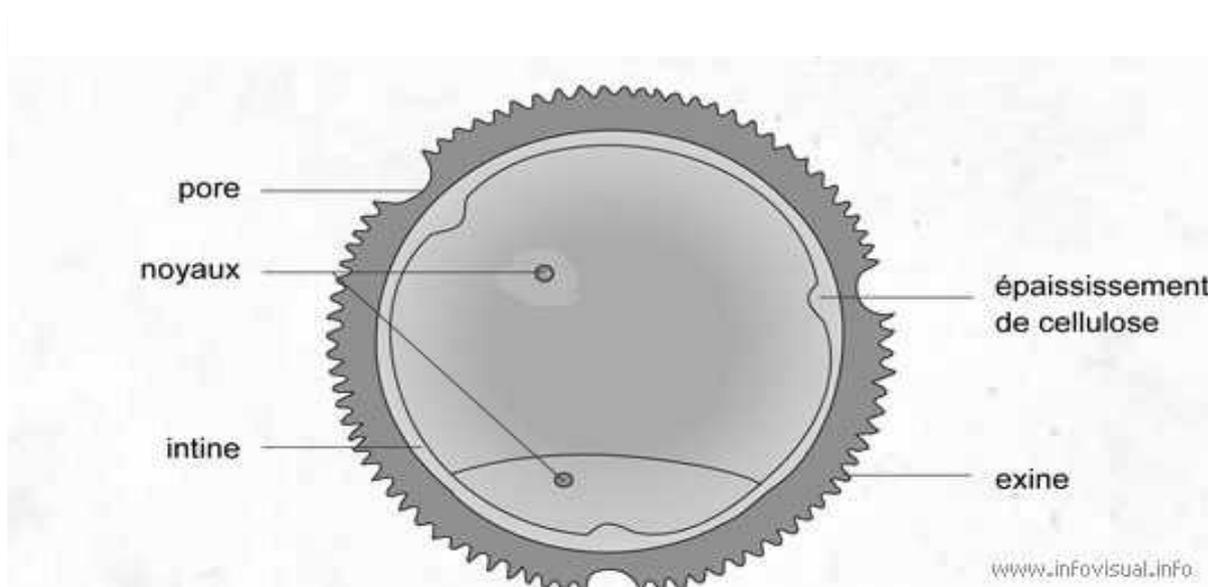


Fig: 3.1 Schéma d'un grain de pollen.

Lors de la pollinisation le grain de pollen atteint le stigmate d'une fleur compatible, la cellule germe et produit deux noyaux fertilisateurs et un tube pollinique. C'est deux noyaux vont fusionner avec ceux de l'ovaire pour donner à la fin une graine [10].

RENAULT et al [88] rapportent que le grain de pollen est constitué d'une paroi composée de deux couches non cellulaires : l'intine, interne et l'exine, externe. L'intine est élaborée par le cytoplasme, elle est constituée de polysaccharides complexes, elle est riche en phosphate et elle n'est pas fossilisable. L'exine est très différente selon les espèces, ce

qui permet la détermination. Bien souvent il faut une étude fine en microscopie pour aboutir à la détermination des grains de pollen mais une classification approximative peut être utilisée. Elle est basée sur :

- La taille, les plus petits sont ceux du myosotis (7 μ m) et les plus gros, ceux de la courge (150 μ m).
- La forme,
- La présence de pores ou de sillons en surface,
- L'ornementation de l'exine.

Chez la majorité des angiospermes, la cellule mère engendre quatre grains de pollen. Ces derniers se séparent au cours de la maturation et forment des grains de pollens simples à une cellule. Dans certains cas les quatre grains restent adjacents, et forment une tétrade le cas des Ericacées ou bien sont composées en polyades (8, 16 ou 32 grains adjacents), le cas des *Acaciaceae* [89].

3.2. Origine des grains de pollens dans les miels

La présence des grains de pollen dans le miel est un phénomène remarquablement constant. Pratiquement il n'existe pas de miels naturels dépourvus de pollens [68]. Lorsque l'abeille récolte le nectar des fleurs, elle entre en contact, non seulement avec les nectaires, mais avec la plupart des pièces florales et notamment les anthères [90]. Selon la morphologie des fleurs ce contact permet de marquer les gouttelettes de nectar par quelques grains de pollens de la plante visitée. Il s'agit d'un véritable marquage car, les grains associés au nectar vont suivre dans le jabot de l'abeille, dans les cellules du rayon puis dans le miel extrait. Toutefois, il existe d'autres voies de pénétration du pollen dans la ruche: pollens atmosphérique ou les pollens anémophiles.

3.3. Description morphologique

La description d'un grain de pollen s'effectue selon les données les plus couramment utilisées de la palynologie descriptive [91]. Un certain nombre de paramètres de description tel que la symétrie, la forme, les dimensions et les apertures [92]. Chaque description est accompagnée d'une indication sur l'origine de la plante ayant fourni le pollen. REILLE [89] souligne que le pollen est une carte d'identité de chaque fleur.

3.3.1. Polarité et symétrie

La description d'un grain de pollen fait appel à son orientation dans la tétrade puisque sa forme est définie par le rapport existant entre les dimensions de l'axe polaire et de l'axe équatorial [89, 92]. La ligne qui joint les deux pôles détermine l'axe polaire et le plan perpendiculaire à l'axe polaire et qui partage le grain du pollen en deux hémisphères : plan équatorial. Lorsque les deux pôles sont identiques, le pollen est isopolaire, cas le plus fréquent, si au contraire, ils sont différents le grain de pollen est anisopolaire ou hétéropolaire.

3.3.2. Forme du grain de pollen

La forme du grain de pollen est définie par le rapport existant entre les dimensions de l'axe polaire (P) et de l'axe équatorial (E) [91,89, 93]

- Le grain de pollen est sphéroïdal ou équiaxe quand $P=E$;
- Le grain de pollen est prolé ou longiaxe quand $P>E$;
- Le grain de pollen est oblé ou bréviaxe quand $P<E$.

La disposition générale d'un grain est variable; mais le cas le plus fréquent est le grain plus ou moins sphérique comportant trois apertures (pores ou sillons), ce qui le rend plus ou moins triangulaires.

3.3.3. Taille du grain de pollen

La taille du pollen peut varier avec l'âge et les conditions de maturation de la plante mais, elle reste globalement constante pour une même espèce. Elle est comprise entre 5 et 250 microns [89, 91]

La dimension du grain de pollen est corrélée avec celle des papilles du stigmate, le diamètre équatorial, du pollen avec leur distance sur la surface réceptive ; tandis que le volume du pollen est corrélé avec la longueur du style [94].

3.3.4. Apertures

A la surface du grain de pollen, il existe des zones présentant un amincissement ou même une absence de certaines couches de l'exine, elles sont appelées les apertures [89, 91, 92]. Leur principale fonction est l'émergence du tube pollinique qui féconde l'ovule de la fleur et assure la formation de la graine. Selon leur forme, on distingue les pores (porus) de forme arrondie et les sillons (colpus) de forme allongée. D'après REILLE [89], de nombreuses combinaisons sont possibles entre les pores et les sillons :

- Monocolporés, dicolporés, tricolporés (pores plus sillons);
- Monoporés, diporés et triporés;
- Monocolpé, dicolpé, tricolpé et tetra colpé.

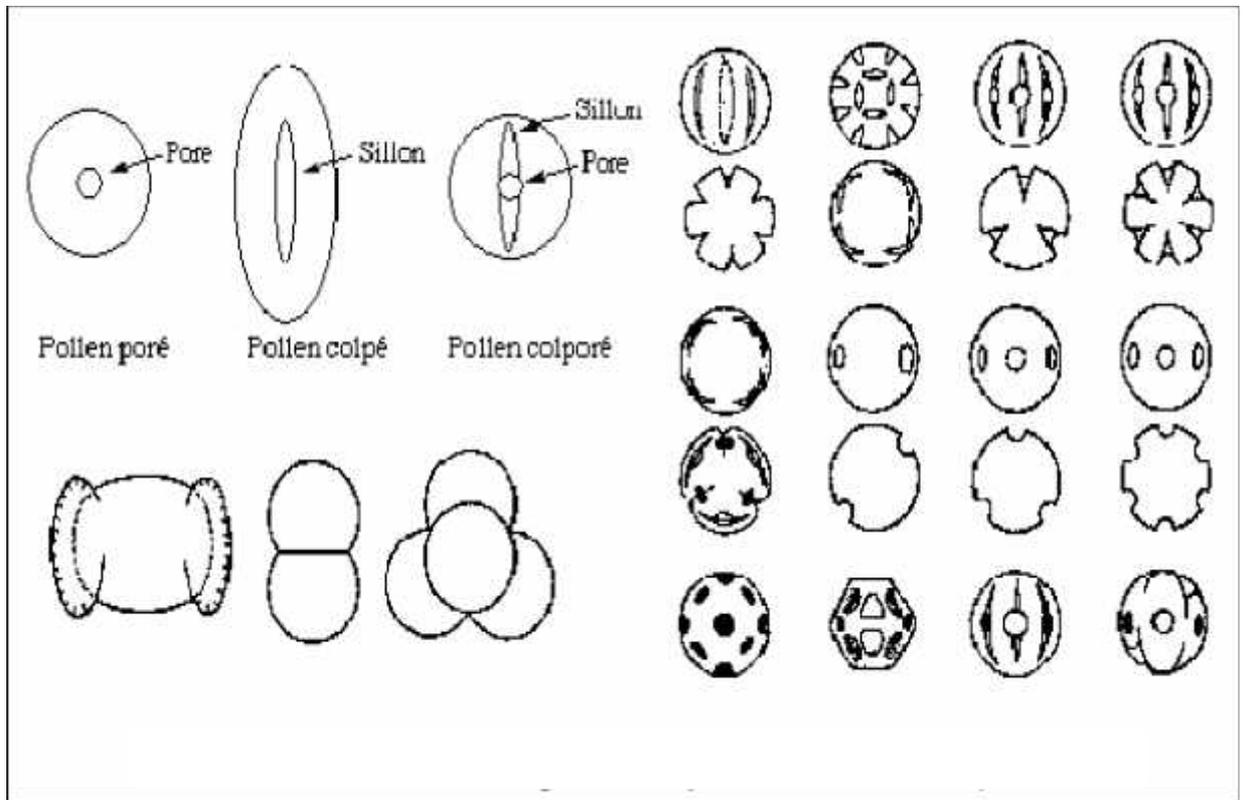


Fig 3.2: Diversité de la forme des grains de pollen et leurs apertures REILLE [89]

3.3.5. Ornementation de l'exine

L'exine présente fréquemment des figures géométriques (ornementations) ou des traits qui permettent généralement une bonne identification. REILLE [95] signale que l'exine par sa complexité et sa particularité est porteuse d'un grand nombre d'informations morphologiques typiques :

- Exine lisse (bourdaine) ;
- Exine fovéolée : Nombreuses petites dépressions (tilleul);
- Exine striée : style empreinte digitale (fruitiers genre prunus);
- Exine ponctuée : nombreux petits points noirs (campanule);
- Exine baculée : élément de sculpture plus haute que large ;
- Exine échinulée : élément de sculpture pointue ;

- Exine réticulée : en réseau ou filet.

3.4. Identification des grains de pollen

La morphologie du grain de pollen est caractéristique pour chaque espèce. L'identification des grains de pollen repose sur la taille, la forme, le nombre et la forme des ouvertures (pores et sillons) et l'architecture extrêmement variée de la membrane externe (exine).

L'analyse au microscope photonique (grossissement jusqu'à 1000 fois) ne permet pas toujours de réaliser des déterminations au niveau de l'espèce. Chez les herbacées, les déterminations sont réalisées le plus souvent au niveau de la famille. Ainsi la détermination pollinique est bien moins précise que la détermination botanique.

L'identification des grains de pollen contenus dans un miel nécessite des préparations microscopiques de référence confectionnées à partir des anthères des espèces elles-mêmes. Elles permettent une description complète du pollen, son dessin et sa photographie [89]. Actuellement, la description d'un pollen s'effectue en tenant compte des données les plus couramment utilisées de la palynologie descriptive. Chaque description est accompagnée d'indication sur l'origine de la plante ayant fourni le pollen [96].

3.5. Estimation de l'origine géographique

L'origine géographique donne des détails sur la région dans laquelle le miel a été produit. Selon LOUVEAUX et ABED [97], le diagnostique d'origine géographique est fonction en premier lieu de la précision du spectre pollinique établi, et en second lieu de l'utilisation des échantillons de référence, c'est-à-dire les types de miels régionaux. BATTESTTI [69] ajoute que l'analyse pollinique n'est pas une méthode simple, elle exige une bonne connaissance des plantes, leur écologie et la morphologie de leurs grains de pollen.

3.6. Estimation de l'origine botanique

La détermination de l'origine botanique repose sur l'identification des pollens et autres constituants du sédiment et sur la fixation de la fréquence des différents éléments et spectre pollinique. En ce qui concerne le classement en fonction de l'origine botanique, certains miels obtenus par pressage des rayons présentent une richesse de pollen qui rend trop difficile une interprétation de leur origine florale [80].

3.7. Analyses polliniques

Tous les miels possèdent une signature de leurs origines. Il s'agit d'une sorte « d'empreinte digitale » pleine d'informations. La méliissopalynologie ou analyse pollinique des miels est la science qui permet de décrypter cette empreinte. Les miels de nectars contiennent en leur sein des exemplaires des grains de pollen de leurs origines. Les miels de miellat contiennent divers éléments capturés par le miellat (spores, algues, filaments mycéliens, pollen anémophiles.....) [91].

4. MATERIEL ET METHODES

4.1. Présentation de la région de Djelfa

4.1.1. Situation géographique

La wilaya de Djelfa est située à environ 350 km au sud d'Alger. Elle est limitée au nord par les wilayates de Médéa et de Tissemsilt, à l'est par les wilayates de M'sila et de Biskra, à l'ouest par les wilayates de Tiaret et de Laghouat et au Sud par les wilayates d'El Oued, d'Ouargla et de Ghardaïa (Fig.4.3) [98].

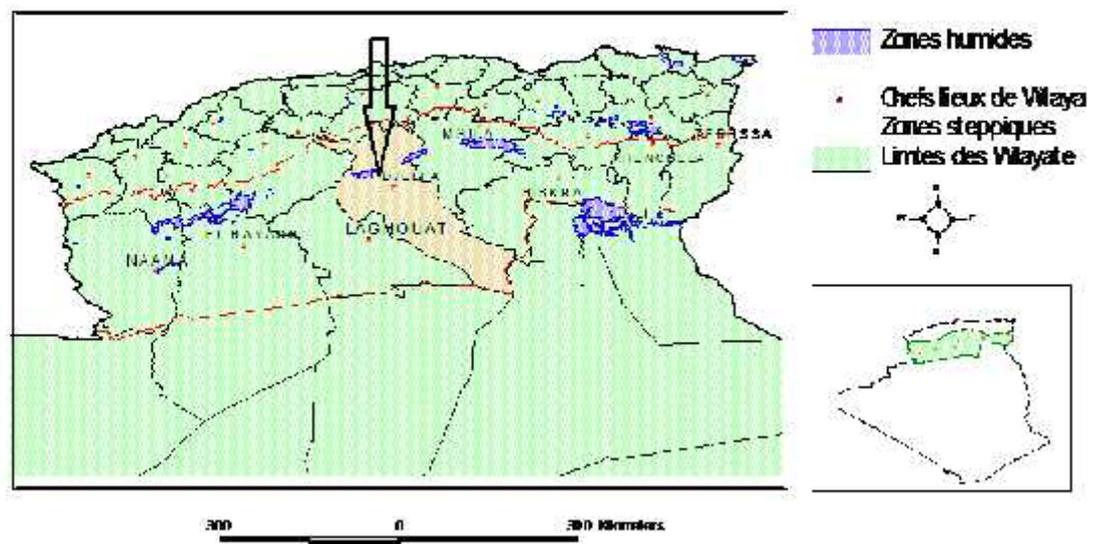


Fig 4.3 : Localisation géographique de la wilaya de Djelfa

4.1.2. Relief

La Wilaya de Djelfa est caractérisée par une succession de reliefs faisant apparaître du nord au sud trois zones bien distinctes [99]:

- Au nord (plaine de Ain Ousséra), une zone plane comprise entre 650m et 850 m d'altitude, elle s'étale sur une superficie d'environ 626 498 ha (représentant 19,42% de la superficie totale de la wilaya).

- Au centre, une zone de dépressions (les Sebkhass), elle est comprise entre 750m et 850 m d'altitude; la dépression des Ouled Naïl est formée de petites plaines dont l'altitude varie entre 900 m et 1600 m.
- Au sud, c'est la zone du plateau pré désertique (plateau présaharien), elle s'étend sur une superficie d'environ 1 784 385 ha (représentant 55,32% de la superficie de la Wilaya), elle plonge dans la dépression formée par Oued Djedi lequel est considéré comme la limite naturelle du Sahara.

4.1.3. Sols

Il est connu que la nature du sol influence la composition et la répartition de la flore naturelle. Les sols de la wilaya de Djelfa sont très hétérogènes, ils se constituent en trois classes [100]:

Les sols peu évolués d'apport alluvial, ayant une texture généralement sableuse à sablonneux-limoneuse. La texture varie de grossière à moyenne (parfois fine) avec une hétérogénéité plus ou moins grande dans le profil et des strates caillouteuses. La structure est généralement lamellaire sur les premiers centimètres. La profondeur est limitée localement par une croûte ou un encroûtement calcaire vers 50 - 100 cm. La salure faible peut devenir plus élevée en profondeur. Ces sols se rencontrent le long des oueds, les dayas et les cuvettes salées ou non.

Les sols calcimorphes : la série de ces sols prend naissance sur les calcaires et comprend notamment les rendzines et les sols bruns calcaires avec ou sans encroûtement, ces sols couvrent les Djebels et les affleurements à dominance de calcaire

Les sols isohumiques : Ce sont des sols épais, sombres, présentant une certaine richesse en matière organique par rapport aux autres sols. Ils sont utilisés à des fins agricoles. Ces sols se trouvent sur les piedmonts et dans certaines dayas.

4.1.4. Climat

Le climat est de type méditerranéen contrasté avec une longue saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide [98]; les précipitations sont faibles et variables d'une année à une autre ; au nord et au centre de la wilaya, la pluviométrie moyenne annuelle est de 200 à 350mm/an, elle est caractérisée par un climat semi-aride ;

tandis que dans la partie sud, considérée comme une zone aride, la pluviométrie annuelle est inférieure à 200mm/an [99].

Il est important de souligner que le climat est un facteur ayant une grande influence sur la sécrétion nectarifère et les caractéristiques des miellées des végétaux.

4.1.5. Couvert végétal

Selon DAJIUZ [101], la végétation est en relation très étroite avec les conditions climatiques et édaphiques (substrat, géomorphologie). Les formations végétales de la wilaya de Djelfa sont constituées essentiellement de plantes xérophiles herbacées ou ligneuses réparties généralement en groupes plus ou moins denses [102]. Les sols peu évolués portent une végétation steppique avec des groupements différents selon la pluviométrie. Ces zones constituent les meilleurs parcours lorsque la couverture sableuse est suffisamment importante par rapport aux affleurements des grès [99].

Dans les dayas et dans les cuvettes de décantation, Les principaux groupements végétaux sont ceux de *Ziziphus lotus* et de *Pistacia atlantica*. Les groupements de *Nerium oleander*, *Tamarix africana* et *Retama retam* se localisent dans les lits caillouteux des oueds. Les groupements du genre *Cistus* se localisent sur le calcaire dur et les croûtes calcaires. Les groupements de *Pinus halepensis* et de *Juniperus oxycedrus*, se trouvent sur les djebels et les affleurements rocheux [102].

4.2. Matériel

Le matériel d'analyse est composé d'échantillons de miels recueillis au niveau des ruchers de production de miel par *Apis mellifica intermissa*. Ces derniers sont situés dans différentes localités de la wilaya de Djelfa. Pour la récolte des miels, nous avons recherché les zones qui sont connues pour leur composition en plantes mellifères, pour leur production de miels et celles qui constituent des zones de transhumance des ruches d'abeilles.

Par rapport aux caractéristiques du relief, du climat et de la nature des sols, nous avons retenues 11 ruchers situées au nord, au centre et au sud de la wilaya de Djelfa (Fig. 4). Les ruchers comptent en moyenne 50 ruches d'abeilles chacun:

Les ruchers 1(Ain Oussara), 2 (Had Shari) et 3 (Benhar) sont situés dans la zone plane du nord;

Les ruchers 4 (Idrissia), 5 (Hassi Bahbah), 6 (Ain Bel) et 7 (Ain Chouhada) sont situés au centre dans les Zones des dépressions;

Les ruchers 8 (Messad), 9 (Selmana), 10 (Oum Laadham) et 11(Guettara) sont situés au sud de la ville de Djelfa dans la zone du plateau présaharien.

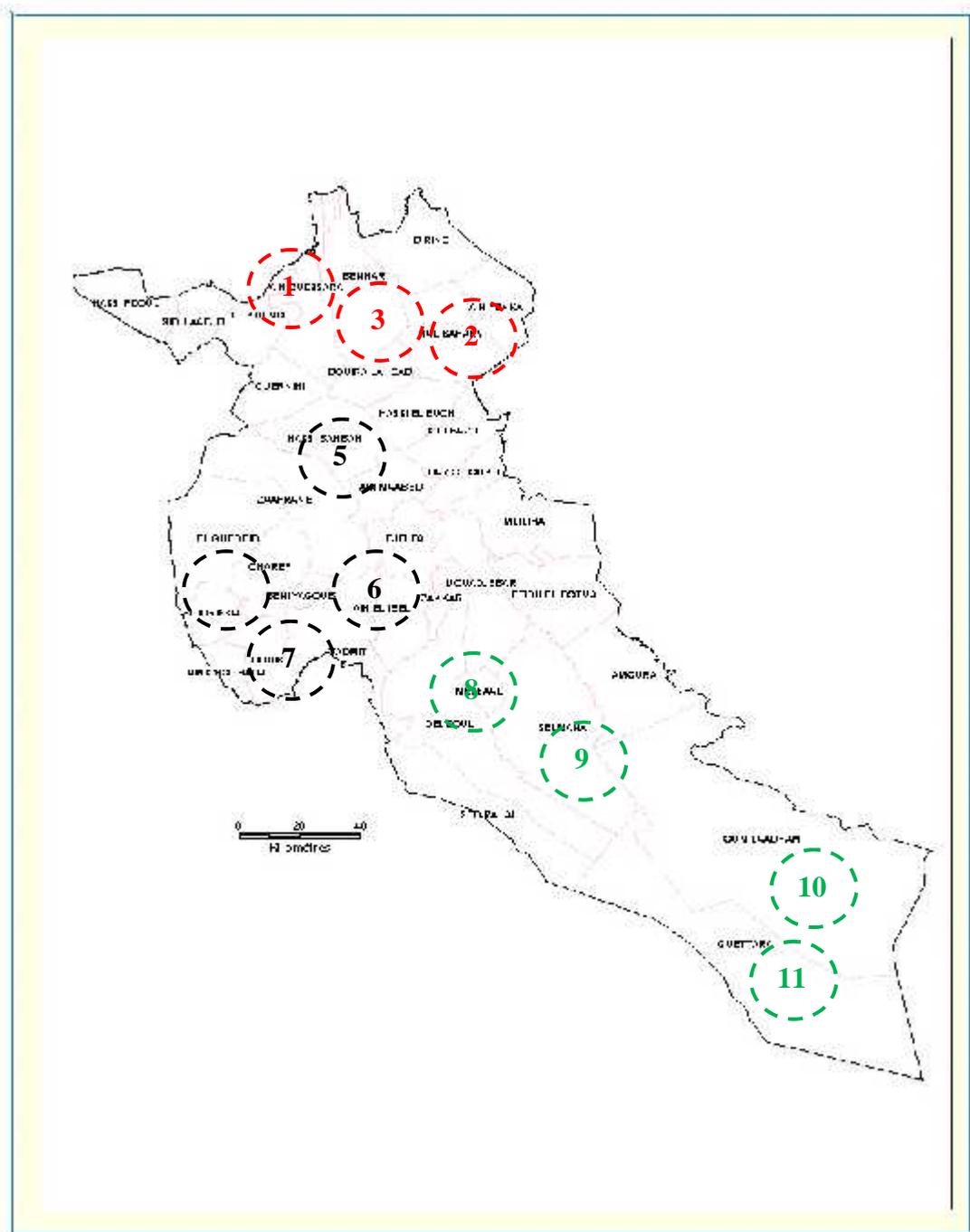


Figure 4.4 : Localisation des 11 ruchers de récolte de miels au niveau de la wilaya de Djelfa

4.3. Méthodes

4.3.1. Récolte des miels et préparation des échantillons

Les miels sont récoltés au mois de juillet de l'année 2012 et de l'année 2013 au niveau des 11 ruchers choisis. L'échantillonnage est constitué comme suit :

- Dix (10) échantillons de miel proviennent des ruchers 1,2 et 3;
- Treize (13) échantillons de miel proviennent des ruchers 4, 5, 6 et 7;
- Quinze (15) échantillons de miel proviennent des ruchers 8, 9,10 et 11.

Au total l'échantillonnage est constitué de trente huit (38) échantillons de miels provenant des 11 ruchers considérés comme productifs. Chaque échantillon pèse 300g.

Les miels sont identifiés et chaque échantillon est fractionné en 3 parties pour les analyses ultérieures; ils sont conservés au réfrigérateur (4°C) dans des flacons en verre.

4.3.2. Analyses des miels

Les paramètres d'analyse considérés dans cette étude sont ceux qui caractérisent les miels : l'origine florale et/ou géographique, la qualité et la stabilité des miels dans le temps.

Les analyses sont réalisées au laboratoire du centre de recherche apicole à l'université catholique de Louvain en Belgique (CARI). Ce laboratoire est accrédité par l'organisme de contrôle de la qualité en Belgique (BELAC).

Afin de valider les résultats des analyses de nos échantillons, nous avons obligatoirement utilisé des témoins de miels (références) du laboratoire du CARI.

4.3.2.1. Analyse pollinique des miels

L'analyse pollinique a pour but d'identifier et de dénombrer les types de pollens présents dans les échantillons de miels. L'étude du profil pollinique des miels permet de connaître les pollens des espèces de plantes butinées par l'abeille; lesquelles sont considérées comme des espèces mellifères.

Les analyses des pollens contenus dans les miels sont réalisées selon la méthode d'acétolyse d'ERDTMAN [103] reconnue par la Commission internationale de botanique et décrite par GADBIN [81]. Cette méthode permet d'éliminer tous les composants du miel et de garder seulement les grains de pollen. Aussi, des produits chimiques corrosifs sont appliqués sur les grains pour les vider de leur contenu et rendre leur paroi externe bien visible au microscope.

4.3.2.1.1. Récolte des grains de pollen

Les grains de pollen sont récoltés sur les fleurs des espèces végétales connues en tant que mellifères poussant dans les périmètres des ruchers. Les fleurs sont récoltées délicatement à partir desquelles les anthères sont coupées pour extraire les grains de pollen. La figure 5 montre quelques anthères des fleurs qui sont prélevées.

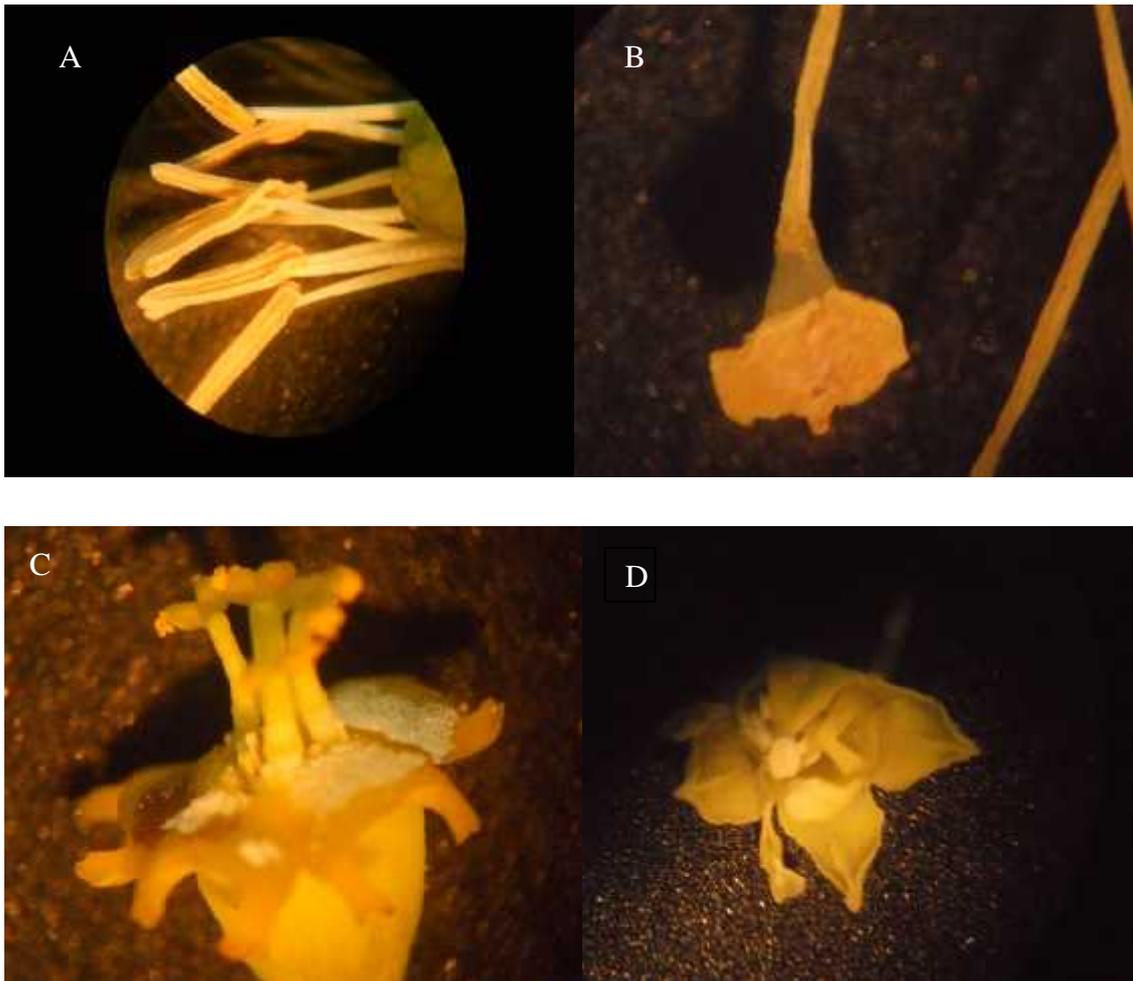


Fig 4.5. Vue des anthères des fleurs à la loupe binoculaire

A: *Peganum harmala* ;

B: *Thapsia garganica*

C: *Euphorbia beupleuroides* ;

D: *Ziziphus lotus*

4.3.2.1.2. Identification des types de pollen

L'identification des types de pollen est réalisée par la comparaison de la morphologie et des dimensions des grains de pollen observés au microscope photonique

dans nos échantillons avec celles des pollens de la banque des données du laboratoire du CARI.

Pour certaines espèces végétales spécifiques à l'écosystème steppique Algérien, nous avons été amenés à constituer des préparations de références, manquantes au niveau de la banque de données du laboratoire CARI.

L'identification des types de pollen effectuée par moi-même, sur tous les échantillons, a été expertisée par Dr. Christine Delcourt, méliissopolynologue du laboratoire CARI.

4.3.2.1.3 Préparation des grains de pollen

Les grains de pollen sont acétolysés selon la méthode d' ERDTMAN [103]. Cette méthode permet d'avoir une meilleure vision de la surface des grains de pollen et de bien montrer l'ornementation de l'exine [75, 103, 104]. Les grains de pollen acétolysés sont placés entre lames et lamelles sans aucun colorant et observés au microscope photonique. Un montage sur les lames est réalisé dans la glycérine pure facilitant leur observation au microscope. Toutes les préparations sont effectuées sans coloration.

Ces préparations sur des lames sont utilisées comme références pour l'identification des grains de pollens retrouvés dans l'ensemble des échantillons de miels.

4.3.2.1.4. Dénombrement des grains de pollens

Le dénombrement des grains de pollens a porté d'une part, sur le calcul de la fréquence de distribution d'un taxon par rapport à l'ensemble des échantillons ; d'autre part, sur le calcul de la fréquence pollinique de chaque type de pollen rencontré dans chaque miel.

- La fréquence de distribution d'un taxon est notée par la présence ou l'absence d'un taxon dans la totalité des échantillons étudiés (exprimé en pourcentage). Elle reflète la composition floristique de la végétation du milieu. La fréquence de distribution des taxons est calculée suivant le nombre d'échantillons de miels dans lesquels ils sont retrouvés conformément à FELLER-DEMASLY et PATENT [105] qui distinguent 4 classes de taxons:

Taxons très fréquents (+50%) ;

Taxons fréquents (20-50%) ;

Taxons peu fréquents (10-20%);

Taxons rares (-10%).

La fréquence pollinique de chaque type de pollen rencontré dans chaque miel est réalisée par la méthode établie par la Commission internationale de Botanique apicole, décrite par LOUVEAUX et al. [75] et VON DER OHE et al. [106]. Cette méthode permet de différencier les variétés de pollen présentes en déterminant leur fréquence pollinique (exprimées en pourcentage) relative par rapport au nombre total de grains de pollen comptés. Selon cette méthode, les pollens sont répartis en quatre classes de fréquences polliniques:

Pollens dominants ou prédominants (+45%),

Pollens d'accompagnement ou secondaires (16- 45%),

Pollens isolés ou tertiaires (3-15%),

Pollens rares (-3%).

Dans notre étude, la détermination des classes de fréquences polliniques s'est faite sur le comptage de 500 pollens.

4.3.2.2. Analyses physico-chimiques des miels

La détermination des paramètres physico-chimiques permet de vérifier leur qualité selon les normes internationales du codex alimentaire [5] et celles de la commission européenne [6].

Les analyses physico-chimiques des échantillons de miels sont réalisées selon les techniques d'analyses recommandées par la commission internationale du miel (IHC) publiées par BOGDANOV et al. [53] et actualisées par BOGDANOV [107].

Les paramètres analysés sont : la teneur en eau, la conductivité électrique, le pH, la teneur en Hydroxyméthylfurfural (HMF), l'indice saccharase, l'indice diastasique, le dosage des sucres.

4.3.2.2.1. Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau est obtenue par la mesure optique des indices de réfraction des miels. Les indices de réfractons sont convertis en teneur en eau selon la table de CHATAWAY cité par BOGDANOV et al. [53]. La détermination de la teneur en

eau de nos échantillons de miel est réalisée au moyen d'un réfractomètre de type ATAGO RX – 5000i.

4.3.2.2.2. Conductivité électrique

C'est la mesure à 20°C de la conductivité électrique d'une solution aqueuse de miel à 20%. La conductivité électrique des échantillons de miels est mesurée par un conductimètre WTW Inolablevel. Elle est exprimée en mS.cm^{-1} .

4.3.2.2.3. pH et acidité libre

La détermination du pH et le dosage de l'acidité libre des échantillons de miels sont réalisés par la méthode de titrage au point d'équivalence. Pour nos analyses, nous avons utilisé un titrateur KYOTO AT 500. L'acidité libre est exprimée en meq.kg^{-1} .

4.3.2.2.4. Teneur en HMF (Hydroxyméthylfurfural)

La teneur en Hydroxyméthylfurfural (HMF) est mesurée par la méthode de WINKLER cité par BOGDANOV et al [53]. Cette méthode permet de déterminer la quantité d'HMF par le dosage des constituants du miel capables de réagir avec la para toluidine et l'acide barbiturique dans les conditions du test. Un complexe de couleur rouge se forme entre les trois réactifs dont l'intensité est mesurée par photométrie après 3 mn à 550 nm. Cette intensité est ramenée à la concentration d'HMF par une droite d'étalonnage. Le résultat est exprimé en mg.kg^{-1} de miel.

4.3.2.2.5. Indice saccharase

La mesure de l'indice saccharase (IS) est réalisée par la méthode de SIEGENTHALER décrite par BOGDANOV et al [53]. Le p-nitrophényl- α -D glucopyranoside (p-NPG) est utilisé pour la détermination de la quantité de saccharase dans le miel. Le p-NPG se dédouble en glucose et en p-nitrophénol sous l'action de l' α -glucosidase (saccharase) ; le pH est ajusté à une valeur de 9,5, la réaction enzymatique est stoppée et en même temps le nitrophénol est transformé. Lorsque le substrat est lysé (p-NPG), le composé libéré dans le milieu réactionnel a une couleur jaune dont l'intensité mesurée à 400 nm peut être ramenée à la concentration en substrat consommé par l'intermédiaire d'une droite d'étalonnage. L'IS est exprimée en unité enzymatique par kg (U.kg^{-1}).

4.3.2.2.6. Indice diastasique (Activité de l'amylase)

L'indice diastasique (ID) est déterminé par la méthode de Phadebas, harmonisée par la commission internationale du miel [53]. Le principe est de mettre la solution de miel en contact avec un polymère insoluble d'amidon sur lequel est couplé un chromophore bleu (comprimés phadebas). L'hydrolyse de l'amidon libère des fragments de colorant solubles dans l'eau. L'activité de l'enzyme est proportionnelle à la densité optique déterminée par photométrie à 620 nm. L'ID du miel est exprimée en unités de Schade.

4.3.2.2.7. Dosage des sucres

Il s'agit de déterminer les sucres prédominants dans les miels. Le dosage de ces sucres est réalisé selon le principe de Ina et Pierce-Pourtallier décrit par la commission internationale de miel [53]. Les sucres sont transformés en aldéhyde ou cétone libre. Ils sont silylés et les dérivés sont séparés et quantifiés par Chromatographie en phase gazeuse.

La détermination du profil glucidique des échantillons de miels est réalisée par chromatographie en phase gazeuse (C.P.G) en utilisant du mannitol en tant que standard interne.

4.3.2.3. Analyse organoleptique

L'examen organoleptique permet de donner une description sur l'ensemble des perceptions sensorielles ressenties par le dégustateur. Il peut ainsi apprécier ses qualités essentielles mais aussi ses défauts.

4.3.2.3.1. Mesure de la couleur du miel (méthode pfund)

La couleur du miel est une caractéristique physique et organoleptique. Elle est le seul examen sensoriel qui, dans le cadre de la législation sur les miels, fait l'objet d'une codification précise.

Pour la détermination de l'intensité de la coloration des miels, nous avons suivi la méthode Pfund décrite par AUBERT et GONNET [108]. L'étalonnage des couleurs du miel est basé sur une comparaison optique simple, en utilisant une échelle des couleurs de pfund allant de 1 à 140nm. La mesure est faite à l'aide d'un appareil de Lovibond, équipé de deux disques A et B, l'un pour les miels clairs, l'autre pour les miels foncés. Des étalons de couleurs représentés par des pastilles colorées en intensité croissante, sont encastrés dans chacun des deux disques. Chaque pastille est référencée

sur la norme internationale de couleur pour les miels (échelle de Pfund). Les résultats Lovibond sont convertis en unité Pfund. Il existe une table de comparaison des deux mesures [53].

Tableau 4.4 : Table de conversion en unité pfund

Lovibond (n° du filtre)	Unité pfund (en mm)	Couleur
30	11	Incolore
40	18	Très clair
50	27	Clair
60	35	Blanc
70	51	Jaune pâle
80	46	Jaune cru
90	51	Jaune paille
100	55	Jaune or
120	62	Jaune ambré
150	71	Jaune orangé
200	83	Roux
250	92	Marron très clair
300	99	Marron clair
400	110	Marron
500	119	Marron foncé
650	130	Marron très foncé
850	140	Noir

Le miel liquide est versé dans une cuve carrée de 1 cm de côté. La cuve est placée dans l'un des compartiments du comparateur, dans l'autre compartiment la rotation du disque permet de faire défiler la gamme colorée. La lecture par rapport à la référence de la pastille est faite quand la couleur observée dans les deux compartiments côte à côte est d'intensité égale. Le miel cristallisé doit subir au préalable un chauffage à 60°C pendant 4 heures, pour le rendre à l'état liquide. Une fois liquéfié, la mesure s'effectue comme décrite ci-dessus.

4.3.2.3.2. Descriptions de la saveur, des arômes et de la consistance des miels

Les descriptions des caractéristiques sensorielles des miels sont faites selon les méthodes utilisées au laboratoire du CARI [60] où une collection de références organoleptiques a été mise en place par un jury de dégustateurs. Ainsi, le laboratoire CARI a élaboré la roue des arômes, aujourd'hui reconnue sur le plan international (Fig.6)

Plusieurs classes (chaud, boisé, chimique, frais, floral-fruité, avancé) et sous-classes sont définies [109]. La mesure des intensités des saveurs et arômes est réalisée par un système d'évaluation chiffré sur une échelle de 1 à 3.

- 1: intensité faible,
- 2: intensité moyenne,
- 3: intensité forte.

Les échantillons de miels sont présentés par ordre selon l'intensité aromatique, du miel très aromatique jusqu'au miel à faible intensité aromatique. Les différentes appréciations sont notées sur une fiche portant les différents descripteurs sensoriels. Ainsi, 30 à 40g de miel sont mis en verre et l'analyse se fait au niveau de trois domaines :

1. Dans le domaine visuel, les dégustateurs enregistrent la couleur (méthode Pfund), la propreté, l'homogénéité de la masse ainsi que les éventuels défauts de la cristallisation ;
2. Dans le domaine olfactif, les odeurs sont perçues immédiatement par voie nasale puis par voie rétro nasale pour définir les arômes une fois le miel est en bouche,
3. Dans le domaine gustatif, ce sont les saveurs des miels qui sont analysées en premier, l'appréciation tactile est ressentie par la suite, lorsque l'on écrase et que l'on fait rouler le miel entre la langue et le palais [109].

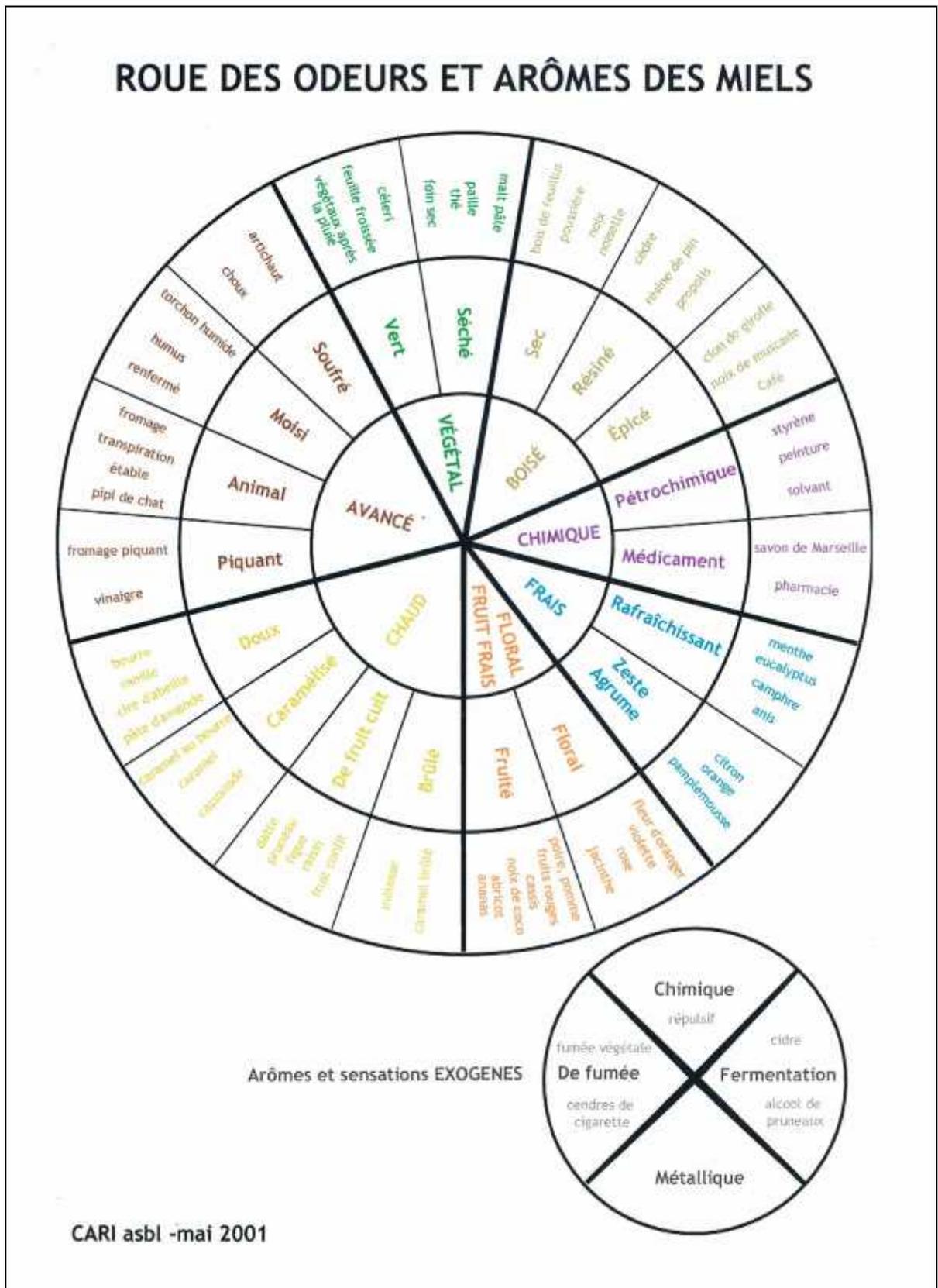


Fig. 4.6: Roue des odeurs et des arômes des miels BRUNEAU et al [109].

4.3.3. Traitements des résultats

Les résultats obtenus pour les paramètres physico-chimiques et polliniques sont soumis au traitement statistique basé sur l'étude de la matrice de corrélation. Les analyses multi variées de type analyses en composantes principales (ACP) et analyses en composantes multiples (ACM) sont réalisées avec le programme R 3.0.2 Core Team [110] et le package FactoMineR version 1.26 [111]. L'ACP et l'ACM permettent de représenter les échantillons en tenant compte des variables étudiées.

L'analyse statistique des résultats permet de connaître les interrelations entre les paramètres physicochimiques et polliniques des 38 échantillons de miels récoltés au niveau des 11 ruchers situés au nord, au centre et au sud de Djelfa.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. Analyses pollinique des miels

5.1.1. Identification des types de pollen

Pour l'identification des types de pollens contenus dans nos échantillons de miels, nous avons d'une part utilisé la collection des références existante au laboratoire du CARI ; d'autre part, nous avons réalisé des préparations de grains de pollen de références de certaines espèces florales de la région steppique considérées comme étant les plus butinées par les abeilles. Ces espèces sont connues par les apiculteurs qui y installent leurs ruchers aux alentours durant les mois de mai et juin (période de floraison).

Les grains de pollen extraits des anthères des fleurs sont observés au microscope photonique (Fi. 7 à 11).



Figure 7. Pollen acétolysé de *Ziziphus lotus* (*Rhamnaceae*) (GX100)



Figure 8. Pollen acétolysé de *Peganum harmala* (*Zygophyllaceae*) (GX100)



Figure 9. Pollen acétolysé de *Thapsia garganica* (*Apiaceae*) (GX100)



Figure 10. Pollen acétolysé d'*euphorbia bupleuroides* (*Euphorbiaceae*) (GX100)



Figure 11. Pollen acétolysé de *Retama retam* (*Fabaceae*) (GX100)

Ces préparations de référence ont contribué à l'identification des grains de pollen contenus dans nos échantillons de miel. Ces types polliniques sont les plus représentées dans les spectres polliniques des miels étudiées ; ils semblent être des sources de nectar et de pollen les plus exploitées par les abeilles dans cette région. Les figures montrent que les grains de pollens référenciés sont tous monoades à symétrie radiale. Leurs exines sont tricolporés, caractérisées par la présence de 3 pores (porus) et 3 sillons (colpus). Les grains de pollen sont de formes et de tailles plus ou moins différentes :

- le grain de pollen de *Ziziphus lotus* mesure environ 22.7 μ x 21,6 μ ;
- le pollen de *Peganum harmala*, mesure environ 23 μ x 17.5 μ ;
- le pollen de *Thapsia garganica* est de forme oblé mesurant environ 11.7 μ x 26.4 μ ;
- le pollen d'*Euphorbia bupleuroides* est sphéroïdale, mesure 32.4 μ x 36.5 μ ;
- le pollen de l'espèce *Retama retam* est plus ou moins allongé mesure 23.5 μ x 17.4 μ .

5.1.2. Dénombrements des grains de pollen

5.1.2.1. Fréquence de distribution des taxons identifiés

Trente-quatre (34) taxons sont identifiés dans les 38 échantillons de miels. La fréquence de distribution des taxons est représentée dans le tableau 5.

Tableau 5.5: Fréquence de distribution des taxons dans les 38 miels analysés

Taxons	Fréquence de distribution (%)
<i>Acacia sp</i>	2,63
<i>Caprifoliaceae</i>	2,63
<i>Eucalyptus sp</i>	2,63
<i>Oleaceae</i>	2,63
<i>Arecaceae</i>	2,63
<i>Pinaceae</i>	2,63
<i>Vicia monantha</i>	2,63
<i>Asphodelus microcarpus</i>	5,26
<i>Ericaceae</i>	5,26
<i>Tamarixaceae</i>	5,26
<i>Echinopssp</i>	7,89
<i>Reseda alba</i>	7,89
<i>Boraginaceae</i>	10,53
<i>Liliaceae</i>	10,53
<i>Renonculaceae</i>	10,53
<i>Medicago sp</i>	13,16
<i>Chenopodiaceae</i>	23,68
<i>Centaurea sp</i>	39,47
<i>Lamiaceae</i>	39,47
<i>Plantaginaceae</i>	39,47
<i>Rosaceae</i>	44,74
<i>Calendula sp</i>	50,00
<i>Poaceae</i>	50,00
<i>Ononis sp</i>	52,63
<i>Echium sp</i>	55,26
<i>Peganum harmala</i>	55,26
<i>Retamaretam</i>	57,89
<i>Euphorbia bupleuroides</i>	60,53
<i>Cis taceae</i>	73,68
<i>Scolymus hispanicus</i>	76,32
<i>Asteraceae</i>	78,95
<i>Brassicaceae</i>	84,21
<i>Thapsia garganica</i>	89,47
<i>Ziziphus lotus</i>	92,11

La fréquence de distribution de tous les taxons varie de très fréquent avec des distributions supérieures à 50 % à rare avec une distribution inférieure à 10 %. Ainsi 11 taxons sont très fréquents, 7 sont fréquents, 4 sont peu fréquents et 12 taxons sont rares. Cette distribution reflète la composition floristique de la végétation du milieu.

5.1.2.2. Fréquence des pollens dans les miels

La fréquence de la présence des pollens des taxons identifiés dans l'ensemble des échantillons de miel est illustrée au niveau du tableau 6. Les pollens sont répartis en quatre classes de fréquences polliniques : Pollens dominants à +45%, Pollens secondaires entre 16- 45%, Pollens tertiaires entre 3-15%, et pollens rares à -3%.

Tableau 5.6 : Fréquence de la présence des types de pollen des taxons dans les miels analysés (%).

Ec h	45%	16-45%	3-16%	-3%
1	<i>Ziziphus lotus</i> (52,30%)		<i>Asteraceae,</i> <i>Brassicaceae, Euphorbia</i> <i>bupleuroides, Cistaceae,</i> <i>Peganum harmala,</i> <i>Thapsia garganica,</i>	<i>Tamarixaceae, Retama</i> <i>retam, Echium sp,</i> <i>Chenopodiaceae,</i> <i>Ericaceae, Centaurae sp</i>
2	<i>Ziziphus lotus</i> (87,93%)		<i>Asteraceae, Brassicaceae</i>	<i>Echium sp,</i> <i>Chenopodiaceae,</i> <i>Cistaceae, Thapsia</i> <i>garganica, Peganum</i> <i>harmala, Lamiaceae</i>
3	<i>Ziziphus</i> <i>lotus</i> (84,62%)		<i>Brassicaceae, Asteraceae</i>	<i>Peganum harmala,</i> <i>Retama reatam, Echium</i> <i>sp, Cistaceae, Thapsia</i> <i>garganica</i>
4	<i>Ziziphus</i> <i>lotus</i> (89,62%)		<i>Brassicaceae</i>	<i>Plantaginacea,</i> <i>Poaceae, Thapsia</i> <i>garganica, Peganum</i> <i>harmala, Lamiaceae,</i> <i>Euphorbia bupleuroides</i>
5		<i>Brassicaceae</i> <i>, Cistaceae,</i> <i>Retama</i> <i>retam</i>	<i>Ziziphus lotus</i>	<i>Asteraceae, Thapsia</i> <i>garganica, Retama</i> <i>retam, Poaceae,</i> <i>Euphorbia bupleuroides,</i> <i>Echium sp</i>
6	<i>Ziziphus</i> <i>lotus</i> (52,09%)		<i>Thapsia garganica,</i> <i>Asteraceae, Cistaceae,</i> <i>Brassicaceae, Echium sp</i>	<i>Euphorbia bupleuroides,</i> <i>Plantaginaceae,</i> <i>Palmeae, Peganum</i> <i>harmala, Poaceae,</i> <i>Lamiaceae, Retama</i> <i>retam, Chenopodiaceae</i>
7		<i>Ziziphus lotus, Retama retam,</i> <i>Brassicaceae</i>		<i>Echium sp, Scolymus</i> <i>hispanicus, Centaurae</i> <i>sp, Calandula sp,</i> <i>Thapsia garganica</i>

8		<i>Liliaceae, Reseda alba, Asteraceae</i>	<i>Calandula, Brassicaceae, Ononis sp, Echium sp</i>	<i>Scolymus hispanicus, Rosaceae, Vicia monantha, Poaceae, Plantaginaceae, Ziziphus lotus, Centaurea sp, Thapsia garganica</i>
9		<i>Peganum harmala, Ziziphus lotus</i>	<i>Reseda alba, Poaceae, Plantaginaceae</i>	<i>Asphodelus microcarpus, Liliaceae, Cistaceae, Brassicaceae, Echium sp, Scolymus hispanicus, Ononis sp, Echinops sp, Calandula sp, Thapsia garganica</i>
10		<i>Retam retam, Peganum harmala</i>	<i>Echium sp, Cistaceae</i>	<i>Thapsia garganica, Lamiaceae, Renonculaceae, Reseda alba, Asteraceae, Scolymus hispanicus, Calandula sp, Retama retam, Plantaginaceae, Rosaceae, Centaurae sp, Euphorbia bupleuroides, Poaceae</i>
11	<i>Ziziphus lotus(75,04%)</i>	<i>Retama retam</i>		<i>Scolymus hispanicus, Brassicaceae, Thapsia garganica, Euphorbia bupleuroides, Rosaceae, Peganum harmala, Lamiaceae, Medicago sp, Cistaceae, Ononis sp</i>
12	<i>Ziziphus lotus(72,94%)</i>		<i>Peganum harmala, Thapsia garganica, Echium sp</i>	<i>Chenopodiaceae, Euphorbia bupleuroides, Ononis sp, Centaurae sp, Scolymus hispanicus, Cistaceae, Brassicaceae, Calandula sp, Retama retam</i>
13	<i>Ziziphus lotus(97,12%)</i>			<i>Calandula sp, Scolymus hispanicus, Medicago sp, Lamiaceae, Ononis sp, Brassicaceae, Cistaceae, Rosaceae</i>
14	<i>Ziziphus lotus (77%)</i>		<i>Rosaceae, Thapsia garganica, Euphorbia bupleuroides, Brassicaceae</i>	<i>Cistaceae, Asteraceae, Scolymus hispanicus, Calandula sp, Echium sp</i>
15	<i>Ziziphus lotus(94,43%)</i>			<i>Asteraceae, Scolymus hispanicus, Rosaceae,</i>

				<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Retama retam</i> , <i>Brassicaceae</i>
16	<i>Ziziphus lotus</i> (87,85%)		<i>Retama retam</i> , <i>Rosaceae</i>	<i>Plantaginaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i>
17	<i>Ziziphus lotus</i> (90,50%)			<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Plantaginaceae</i> , <i>Echinops sp</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Thapsia garganica</i>
18	<i>Ziziphus lotus</i> (50,08%)		<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Thapsia garganica</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Cistaceae</i>	<i>Calandula sp</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Renonculaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Echium sp</i>
19	<i>Ziziphus lotus</i> (45,75%)	<i>Rosaceae</i> , <i>Echium sp</i>	<i>Thapsia garganica</i> , <i>Centaurae sp</i>	<i>Ononis sp</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Oleaceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i>
20	<i>Ziziphus lotus</i> (55,44%)		<i>Echium sp</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Thapsia garganica</i> , <i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Peganum harmala</i>	<i>Centaurae sp</i> , <i>Chenopodiaceae</i> , <i>Renonculaceae</i> , <i>Boraginaceae</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i>
21	<i>Ziziphus lotus</i> (72,21%)		<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Peganum harmala</i> , <i>Thapsia garganica</i>	<i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Boraginaceae</i> , <i>Echium sp</i> , <i>Retama retam</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Centaurae sp</i>
22	<i>Ziziphus lotus</i> (86,08%)		<i>Thapsia garganica</i>	<i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Centaurae sp</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Peganum harmala</i>
23	<i>Ziziphus lotus</i> (66,78%)		<i>Brassicaceae</i> , <i>Peganum harmala</i> , <i>Calandula sp</i>	<i>Centaurae sp</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Renonculaceae</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Asteraceae</i> ,

				<i>Ononis sp,</i> <i>Plantaginaceae</i> <i>,Poaceae, Cistaceae,</i> <i>Thapsia garganica</i>
24	<i>Ziziphus lotus</i> (56,22%)	<i>Calandula sp</i>	<i>Thapsia garganica,</i> <i>Peganum harmala,</i> <i>Asteraceae</i>	<i>Brassicaceae</i> <i>,Plantaginaceae,</i> <i>Retama retam, Scolymus hispanicus, Cistaceae,</i> <i>Centaurae sp</i> <i>Calandula sp,</i> <i>Cistaceae, Rosaceae,</i> <i>Asteraceae,</i> <i>Brassicaceae</i>
25	<i>Ziziphus lotus</i> (83,83%)		<i>Peganum harmala,</i> <i>Thapsia garganica</i>	<i>Chenopodiaceae,</i> <i>Scolymus hispanicus,</i> <i>Centaurae sp, Thapsia garganica, Ononis sp,</i> <i>Plantaginaceae,</i> <i>Euphorbia bupleuroides,</i> <i>Echium sp, Retama retam, Cistaceae</i>
26	<i>Ziziphus lotus</i> (73,23%)		<i>Brassicaceae, Peganum harmala</i>	<i>Centaurae sp, Echium sp, Poaceae,</i> <i>Plantaginaceae ,</i> <i>Chenopodiaceae,</i> <i>Echinops sp</i>
27		<i>Euphorbia bupleuroide,</i> <i>Retama retam</i>	<i>Ziziphus lotus, Ononis sp,</i> <i>Asteraceae, Scolymus hispanicus, Lamiaceae,</i> <i>Thapicia garganica</i>	<i>Echinops sp, Echium sp, Cistaceae , Poaceae,</i> <i>Rosaceae, Ziziphus lotus, Brassicaceae</i>
28		<i>Euphorbia bupleuroides , Retama retam</i>	<i>Lamiaceae, Scolymus hispanicus, Asteraceae,</i> <i>Thapsia garganica, Ononis sp</i>	<i>Scolymus hispanicus, Brassicaceae, Asteraceae,</i> <i>Thapsia garganica</i>
29	<i>Ziziphus lotus</i> (75,68%)		<i>Scolymus hispanicus, Brassicaceae, Asteraceae,</i> <i>Thapsia garganica</i>	<i>Cistaceae, Poaceae, Ononis sp, Lamiaceae,</i> <i>Euphorbia bupleuroides</i>
30		<i>Ppeganum harmala, Euphorbia bupleuroides</i>	<i>Cistaceae, Ononis sp, Thapisia garganica,</i> <i>Ziziphus lotus, Asteraceae</i>	<i>Poaceae, Brassicaceae, Reatama retam ,</i> <i>Chenopodiaceae,</i> <i>Echinops sp</i>
31	<i>Ziziphus lotus</i> (92,16%)		<i>Asteraceae, Scolymus hispanicus</i>	<i>Poaceae, Thapsia garganica</i>
32	<i>Ziziphus lotus</i> (67,87%)	<i>Asteraceae</i>	<i>Scolymus hispanicus</i>	<i>Euphorbia bupleuroides, Echium sp, Centaurae sp, Cistaceae, Thapsia garganica, Brassicaceae</i>
33	<i>Ziziphus lotus</i> (87,25%)		<i>Cistaceae</i>	<i>Acacia sp, Echinops sp, Ericaceae, Medicago sp, Ononis sp, Echium sp, Brassicaceae, Liliaceae, Thapsia garganica, Asteracea</i>

34	<i>Ziziphus lotus</i> (84,34%)	<i>Thapsia garganica</i>	<i>Calandula sp</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Peganum harmala</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Boraginaceae</i> , <i>Retama retam</i> , <i>Ononis sp</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Chenopodiaceae</i> , <i>Centaureae sp</i>
35	<i>Retama retam</i> , <i>Ononis sp</i> , <i>Euphorbia bupleuroides</i>	<i>Brassicaceae</i> , <i>Ziziphus lotus</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Thapsia garganica</i>	<i>Plantaginaceae</i> , <i>Echinops sp</i> , <i>Centaureae sp</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Calandula sp</i> , <i>Peganum harmala</i>
36	<i>Ziziphus lotus</i> (75,93%)	<i>scolymus hispanicus</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Thapsia garganica</i>	<i>Chenopodiaceae</i> , <i>Centaureae sp</i> , <i>Ononis sp</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Echium sp</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Plantaginaceae</i> , <i>Medicago sp</i> , <i>Retama reatam</i> , <i>Euphorbia bupleuroides</i>
37	<i>Thapsia garganica</i> , <i>Peganum harmala</i> , <i>Ziziphus lotus</i>	<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Ononis sp</i> , <i>Brassicaceae</i>	<i>Lamiaceae</i> , <i>Poaceae</i> , <i>Centaureae sp</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Plantaginaceae</i> , <i>Retama retam</i> , <i>Boraginaceae</i> , <i>Asteraceae</i>
38	<i>Peganum harmala</i> , <i>Ononis sp</i>	<i>Thapsia garganica</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Ziziphus lotus</i> , <i>Asteraceae</i>	<i>Euphorbia bupleuroides</i> , <i>Echium sp</i> , <i>Tamarixaceae</i> , <i>Retama retam</i> , <i>Cistaceae</i> , <i>Scolymus hispanicus</i> , <i>Liliaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Plantaginaceae</i>

La figure 12 illustre les spectres polliniques représentant la fréquence de chaque pollen rencontré dans les miels en fonction des quatre classes de fréquence pollinique tels décrites par LOUVEAUX et al. [75] et VON DER OHE et al. [106].

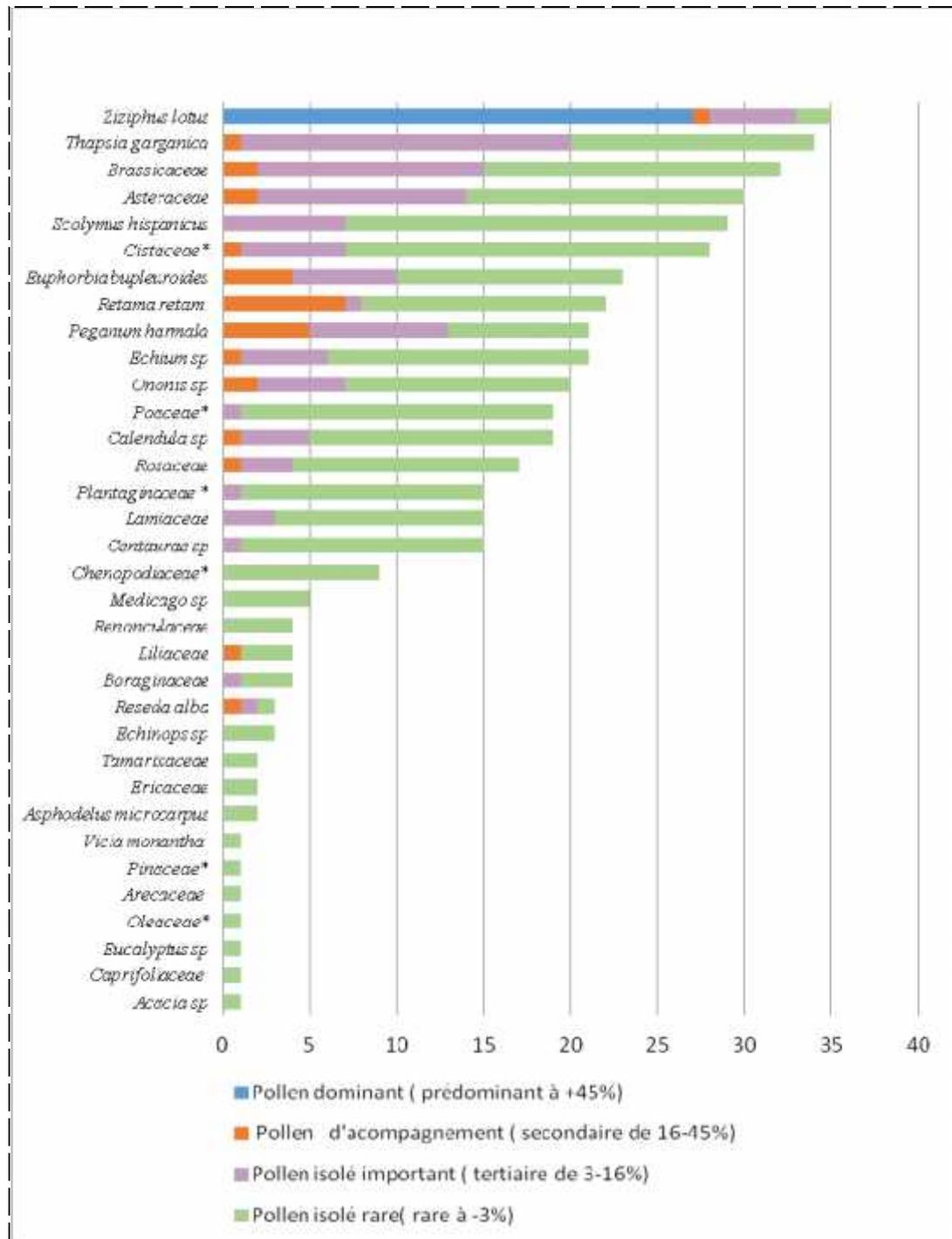


Figure 5.12. Fréquence de la présence des pollens des 34 taxons identifiés dans les échantillons de miel (* : espèces non nectarifères)

L'analyse des spectres polliniques (Fig. 12) met en évidence la dominance du jujubier *Ziziphus lotus* (Z) dans 27 échantillons de miels. Ainsi 11 échantillons sont des miels de toutes fleurs (T) sans dominance pollinique apparente. La dominance de *Z. lotus* présente une fréquence variant de 45,75 à 97,12%. Le reste des pollens sont soit secondaires avec une fréquence pollinique entre 16 et 45% ; tertiaire entre 3 et 15% ou de fréquence rare à moins de 3% (Tab. 6).

La figure 13 illustre la composition pollinique des miels du groupe (Z), ainsi nous remarquons bien la présence dominante du type pollinique *Z. lotus* (Zl).

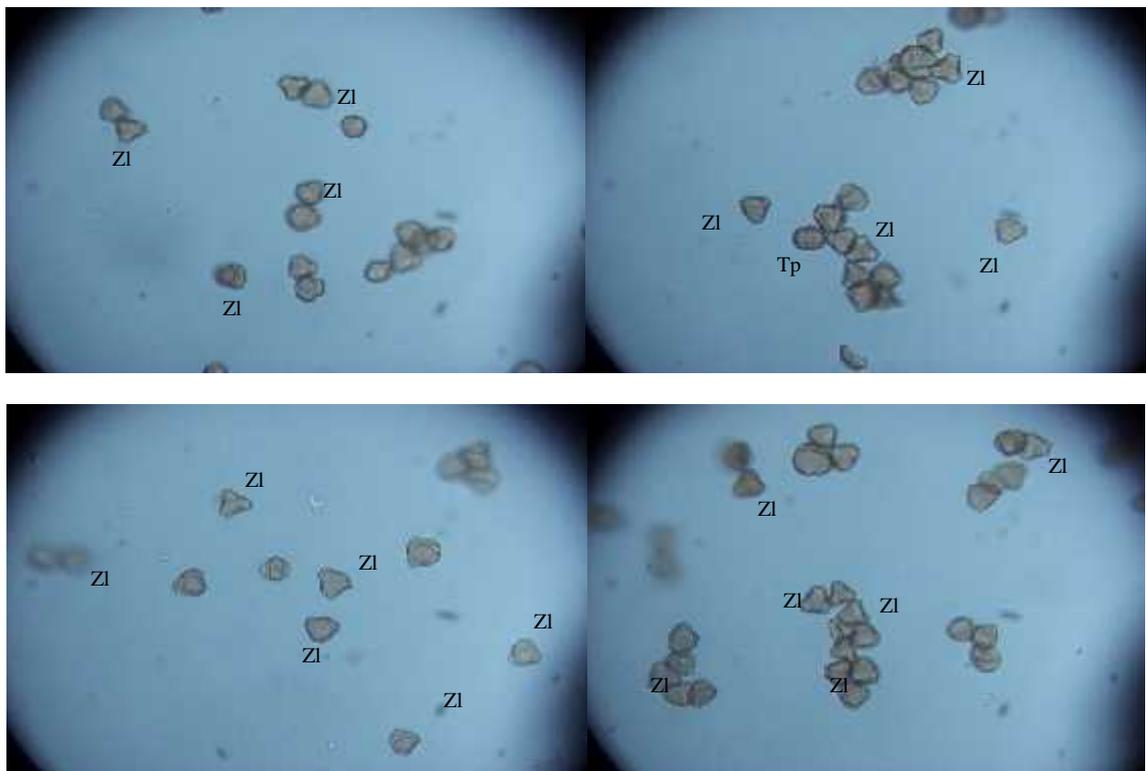


Figure 5.13. Composition pollinique des miels du groupe(Z) (GX20).

Zl : *Ziziphus lotus* Tp: *Thapsia garganica*

BATTESTI [112], signale que les pollens présents dans les miels sont des marqueurs du milieu floristique et, que les taxons les plus représentatifs d'une région sont ceux qui ont à la fois une distribution de présence maximale et une fréquence pollinique importante. VON DER OHE et al. [106] soulignent qu'un miel est considéré comme unifloral si la fréquence relative du pollen de ce taxon est supérieure à 45%. Selon les

mêmes auteurs, il existe des variations au niveau des types de pollens qui peuvent être sous ou surreprésentés en fonction de l'espèce.

Dans notre étude, le *Z. lotus* est le plus représentatif, car il est dominant dans 71.03% des miels analysés. Sa fréquence pollinique atteint plus de 97%. Ainsi, la majorité des miels produits dans la région de Djelfa renferment du pollen de *Ziziphus lotus* (Fig.12).

Les miels sans dominance pollinique se caractérisent par la présence de pollens secondaires et tertiaires de plusieurs taxons nectarifères, dont nous citons les pollens d'*Asteraceae*, de *Brassicaceae*, de *Cistaceae*, d'*Euphorbia bupleuroides*, de *Peganum harmala*, de *Thapsia garganica*, d'*Echium* sp. et de *Retama retam*. Les espèces des familles des *Poaceae*, des *Chenopodiaceae*, des *Pinaceae*, des *Cistaceae*, des *Plantaginaceae* et des *Oleaceae* ne sont pas nectarifères mais constituent de très bonnes sources de pollen pour les abeilles (Tab. 6).

La diversité des grains de pollen contenus dans les miels (T) est illustrée sur la figure 14 montrant l'existence de plusieurs types polliniques (Fig.14).

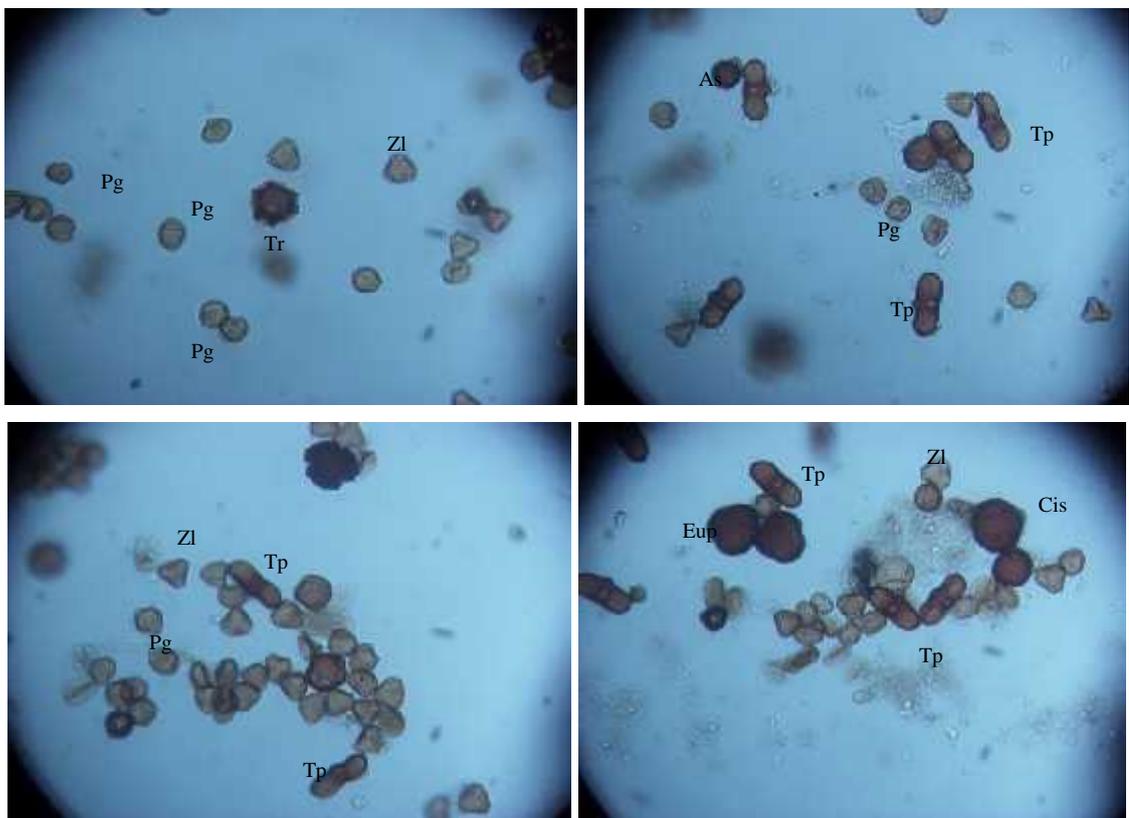


Fig. 5.14. Composition pollinique des miels du groupe (T) (GX20)

Pg: *Peganum harmala* ; Zl : *Ziziphus lotus* ; Eup: *Euphorbia bupleuroides*
 Tp: *Thapsia garganica*; As: *Asteraceae* ; Tr: *Taraxacum* sp. (*Astéraceae*)

Les spectres polliniques retrouvés dans les miels étudiés de la région steppique de Djelfa sont différents de ceux rapportés dans les travaux de LOUVEAUX et ABED [97], OUCHMOUKH [113], BENAZIZA et al [114], MAKHLOUFI et al [115] et NAIR et al [116] réalisés sur les miels des plaines et des montagnes du nord de l'Algérie. Dans ces régions, les miels sont caractérisés par des spectres polliniques dominés par les pollens des plantes du genre *Citrus*, *Eucalyptus*, *Hedysarum*, *Rubus* et *Rosmarinus*.

5.2. Analyses physico-chimiques

Les données des paramètres physico-chimiques permettent d'apporter des informations complètes sur la qualité des miels produits dans la zone d'étude. Selon VON DER OHE et al [106], pour une détermination correcte de l'origine botanique du miel, les analyses polliniques doivent être complétées par les analyses physico-chimiques et organoleptiques.

Les résultats des analyses physico-chimiques des miels sont résumés dans le tableau 7. Ils sont présentés en fonction des résultats de l'analyse pollinique où nous distinguons deux groupes : les miels (n= 27) dont le spectre pollinique comporte un pollen dominant de *Z. lotus* (Z) et les miels (n= 11) dont le spectre pollinique ne comporte aucun pollen dominant (T).

Tableau 5.7. Résultats des analyses physico-chimiques.

Paramètres	Miels (T) n=11	Miels (Z) n=27	Min-Max
Teneur en eau (%)			
Moyenne ±Ecart-type	14,06±0,65	13,93±0,66	13.07- 15.56
Conductivité électrique (mS.cm⁻¹)			
Moyenne ±Ecart-type	0,36±0,09	0,47±0,08	0.27-0.58
pH initial			
Moyenne ±Ecart-type	4,52±0,50	5,17±0,48	4.14-6.01
Acidité libre (meq.kg)			
Moyenne ±Ecart-type	9,21±3.38	5,18±2.1	2.61-14.40
HMF mg/kg			
Moyenne ±Ecart-type	5,7±4.59	3,11±3.41	0-14.15
ID (Unité Schade)			
Moyenne ±Ecart-type	25,37±5.41	26,17±4.06	9.89-32.79
IS (Unité. Enzymatique)			
Moyenne ±Ecart-type	20,49±9.72	16,81±4.07	5.87-34.12

5.2.1. Teneur en eau

Les teneurs moyennes en eau des miels analysés varient entre $13,93 \pm 0,66$ % pour les miels à dominance de *Z.lotus* (Z), et $14,06 \pm 0,65$ % pour les miels sans dominance pollinique (T) (Fig.15).

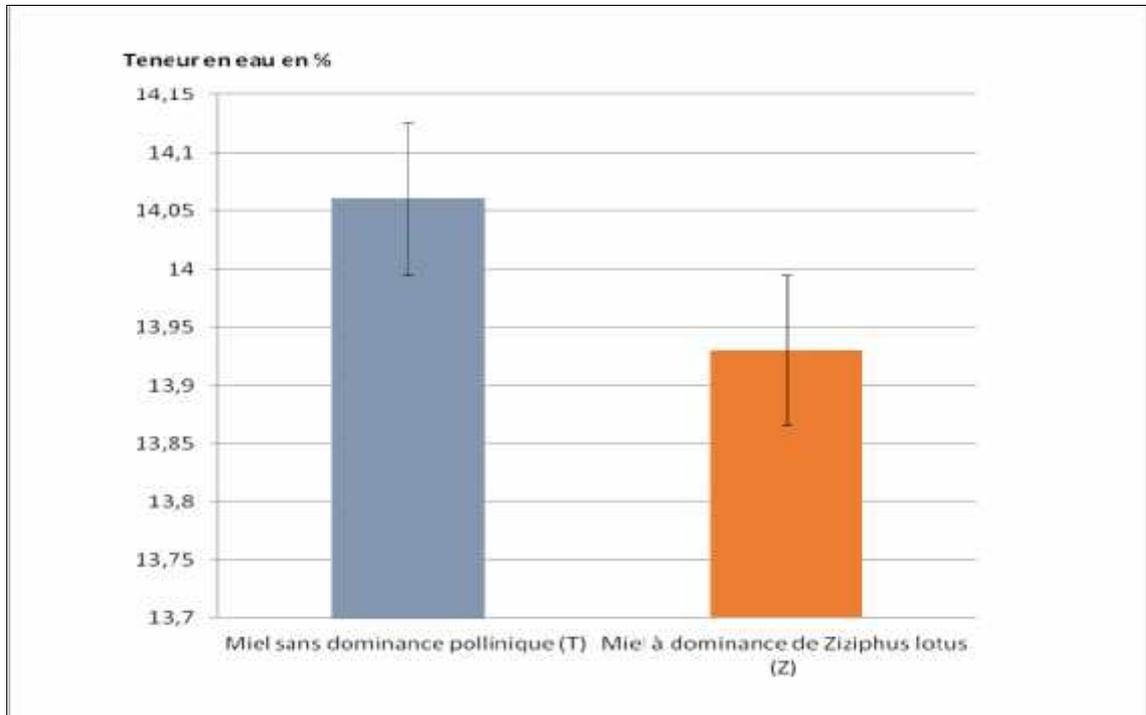


Figure 5.15. Teneurs moyennes en eau des miels analysés

Ces variations dans les teneurs en eau sont également enregistrées par plusieurs auteurs. Les travaux de TERRAB et al. [117] sur 29 échantillons de miel marocain d'*Eucalyptus*, indiquent des valeurs entre 14 et 19,9%.

OUCHMOUKH et al [113] donnent des valeurs entre 14 et 19% pour les miels, de toutes fleurs, produits à Bejaia. CHEFFROUR et al. [118] signalent des teneurs en eau élevées (16 à 20,4%) pour 13 échantillons de miel de toutes fleurs produits dans les régions Nord-Est d'Algérie. Les travaux de BENAZIZA et al [114] sur les miels de la Mitidja à dominance de *Citrus* donnent une valeur moyenne de 18,4%.

Ces variations dans les teneurs en eau sont signalées par BOGDANOV et al [49]. D'après ces auteurs, les teneurs en eau varient en fonction de l'origine florale, du climat de la région et de la saison de production du miel. Aussi, selon LOUVEAUX [46] la teneur en eau des miels varie en fonction de l'intensité des miellées, de la force des colonies

d'abeilles et de la technique de récolte; le miel est hygroscopique, il peut absorber ou perdre l'humidité de l'air. Nos résultats montrent que les miels de la région de Djelfa sont relativement secs.

Le Codex alimentaire [5] et la directive européenne 2001/110/CE [6], modifiée par la directive 2014/63/UE [7], prescrivent une teneur en eau maximale de 20%. Le seuil conseillé par le CARI en Belgique est inférieur à 18% [120].

5.2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique représente un bon critère pour la détermination de l'origine botanique du miel. Ce paramètre est très utilisé pour la classification des miels monofloraux [83]. Nos résultats montrent des valeurs des conductivités électriques variables comprises entre 0,27 et 0,58 mS.cm⁻¹ (Fig. 16).

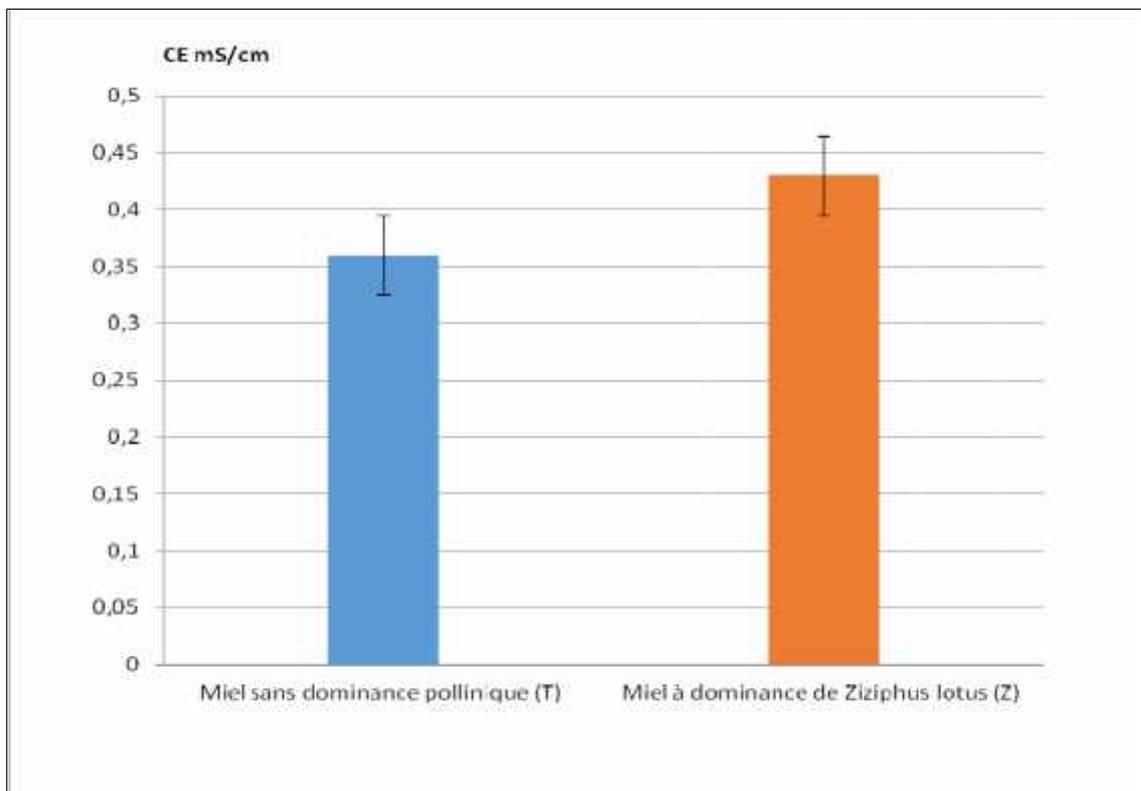


Figure 5.16. Conductivités électriques moyennes des miels analysés

Les miels analysés à dominance pollinique de *Z. lotus* (Z) présentent une conductivité électrique moyenne de 0,47 mS.cm⁻¹; les miels sans dominance pollinique (T) ont une valeur moyenne de 0,36 mS.cm⁻¹.

Les travaux de BENAZIZA et al [114], donnent des valeurs comprises entre 0,20 et 0,80 mS.cm^{-1} pour les miels de la plaine de la Mitidja. MAKHLOUFI et al [115] trouvent des valeurs allant de 0,10 à 0,93 mS.cm^{-1} ; alors que pour les miels de Béjaia, OUCHMOUKH et al [113] donnent des valeurs allant de 0,21 à 0,78 mS.cm^{-1} . Ces résultats sur les miels Algériens concernent particulièrement les miels multif floraux de montagne avec le plus souvent des mélanges de nectar et de miellat. Aussi pour les miels d'eucalyptus ce qui confirme l'exception faite par BOGDANOV et al [119].

La directive européenne 2001/110/CE [6] et 2014/63/UE [7], indique que la conductivité électrique présente des valeurs extrêmement variables suivant le type de miel. En général, les miels de nectar présentent des valeurs inférieures à 0,8 mS.cm^{-1} , des valeurs plus élevées sont généralement associées aux miels de miellat ou aux mélanges de nectar et de miellat. Dans notre cas, la totalité des miels analysés ont des conductivités ne dépassant pas 0,58 mS.cm^{-1} , permettant ainsi de les classer comme miels issus de nectar des fleurs.

5.2.3. pH et acidité libre

Le pH initial des 38 échantillons de miel analysés varie de 4,14 à 6,01 ; tandis que leurs acidités libres oscillent entre 2,61 et 14,40 meq.kg^{-1} .

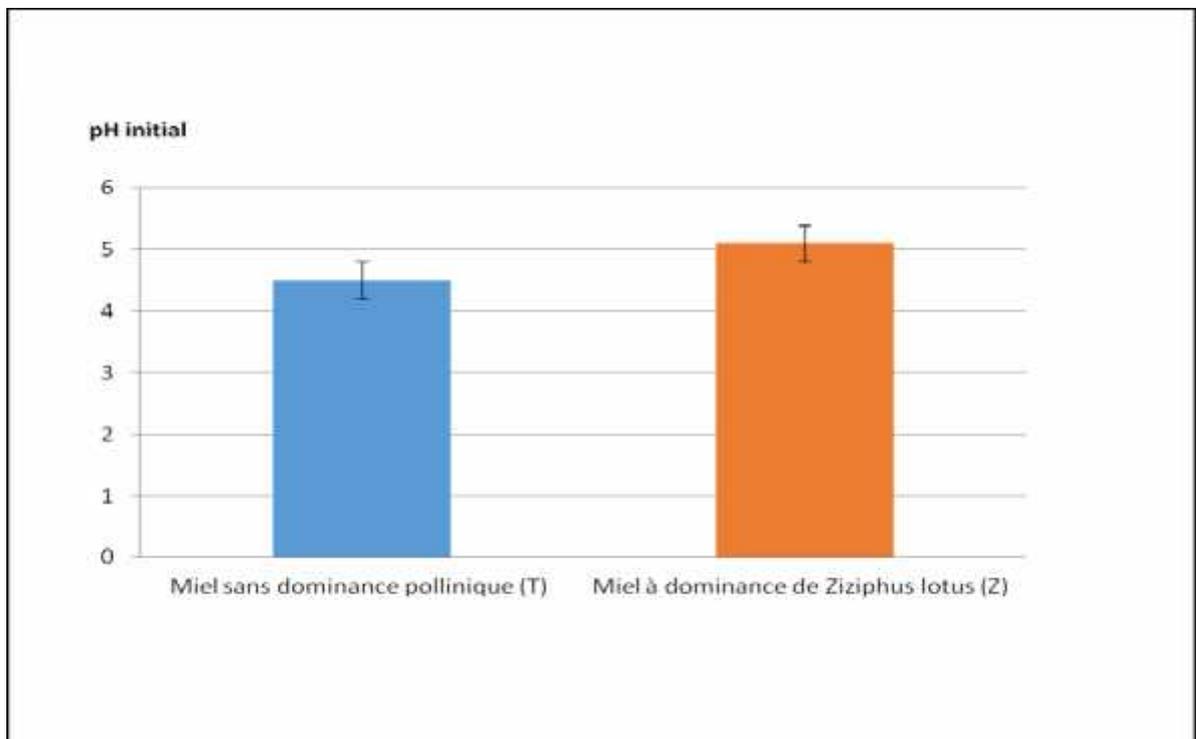


Fig. 5.17. pH moyens des miels analysés

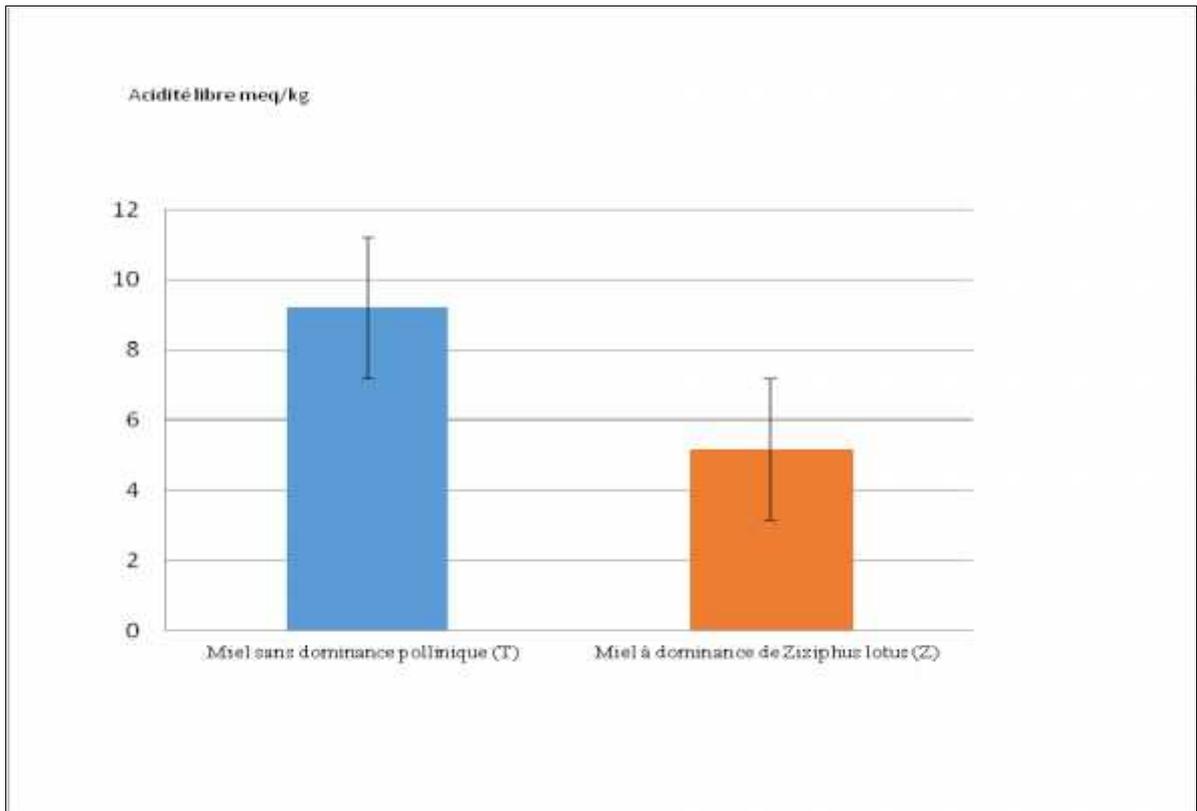


Figure 5.18. Acidités libres moyennes des miels analysés

Les figures 17 et 18 montrent que les miels dominés par le *Z. lotus* présentent un pH plus élevé à 5,17 et une acidité moyenne plus faible (5,18 meq.kg⁻¹) que ceux des miels sans dominance qui ont un pH de 4,52 et une acidité libre de 9,21 meq.kg⁻¹.

Le codex alimentaire [5] et la directive européenne 2001/110/CE [6] et 2014/63/UE [7] ne citent aucune valeur de référence pour le pH; alors que pour l'acidité libre, ils prescrivent une limite maximale de 50meq.kg⁻¹ pour les miels de qualité. L'acidité des miels est due à la présence de l'acide gluconique issu de la transformation du glucose qui est favorisée par des teneurs élevées en eau [120]. Dans notre étude, les échantillons à faibles teneurs en eau présentent des faibles teneurs en acidité libre particulièrement chez les miels à dominance de *Z.lotus*.

Les miels de la plaine de la Mitidja à dominance du genre *Citrus* présentent un pH compris entre 3.66 et 4 [114]. OUCHMOUKH et al [113] estiment que les miels multi floraux de l'Est de l'Algérie ont un pH variant de 3.49 à 4.43 et une acidité libre allant de 3.90 à 31.37 ce qui concorde avec les résultats trouvés par CHEFFROUR et al [118]. Les miels du sud ouest du Kef tunisien présentent une acidité libre de 9.4 à 16.4 méq/kg avec

un pH variant de 3.45 à 4.87 [121]. Les miels marocains analysés par TERRAB et al [117] ont un pH moyen de 3.64.

Selon GONNET [31], les variations du pH et d'acidité sont liées à la race d'abeille, à l'environnement géographique, à la flore butinée et au climat qui contribue à accentuer ces différences. Bien que tous les miels sont acides par la présence de l'acide gluconique, leur faible teneur en eau inhibe la transformation du glucose en acide gluconique ; ce qui justifierait les valeurs trouvées pour l'acidité et le pH des miels de la région de Djelfa.

5.2.4. Teneur en Hydroxyméthylfurfural

La concentration en H.M.F caractérise la qualité des miels [122]. Elle constitue un indicateur de dégradation ou de fraîcheur du miel. Nos résultats montrent que les teneurs moyennes en HMF sont de $3,11 \pm 3.41 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les miels à dominance de *Z.lotus* (Z), et de $5,7 \pm 4.59 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les miels sans dominance pollinique (T) (Fig. 19).

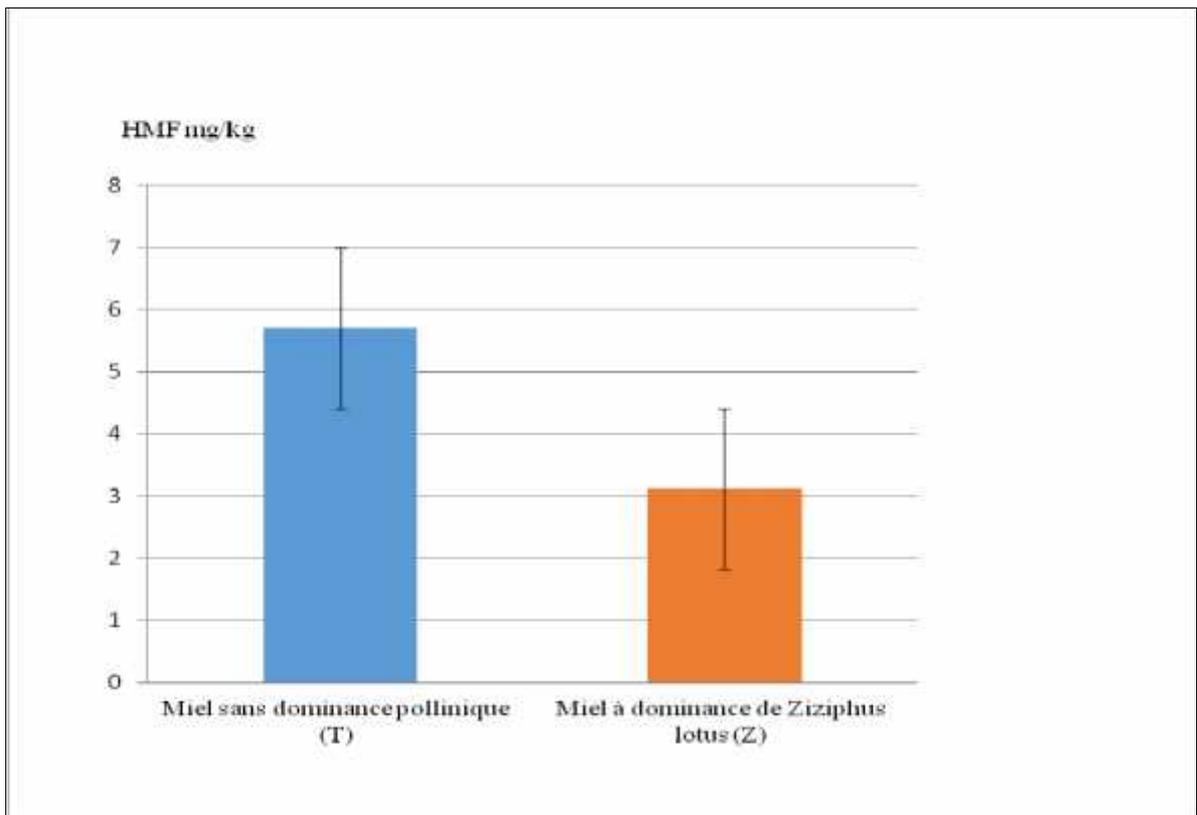


Figure 5.19. Teneurs moyennes en HMF des miels analysés

MAKHLOUFI et al [115], en analysant 66 échantillons de miels de différentes régions d'Algérie, donnent des valeurs de HMF variant de 0,5 à 123,98 mg.kg⁻¹, des résultats similaires sont rapportées dans les travaux d'OUCHMOUKH et al [113] et de BENAZIZA et al [114].

La norme du Codex alimentaire [5] et celle de la directive européenne 2001/110/CE [6] et 2014/63/UE [7] sont fixées à une teneur maximale de 40 mg.kg⁻¹.

Il est important de rappeler que selon les résultats obtenus plus haut, les miels analysés (38 échantillons) de la région de Djelfa sont secs, ils présentent une faible acidité et un pH élevé. Cela pourrait justifier leur faible teneur en HMF, ce qui indiquerait leur bonne qualité.

5.2.5. Activités enzymatiques : Indice diastasique (ID) et indice saccharase (IS)

Les activités enzymatiques donnent des informations complémentaires sur la fraîcheur du miel et le traitement thermique subi par le miel. Les enzymes sont ajoutées au miel principalement par les abeilles, il existe des variations considérables selon les types de miel [83].

L'activité diastasique (Fig.20) des miels analysés varie de 9,89 à 32,79 U. Schade. Les valeurs de l'indice saccharase varient de 5,87 à 34,12 U.Kg⁻¹ (unités enzymatiques par kg de miel) (Fig.21).

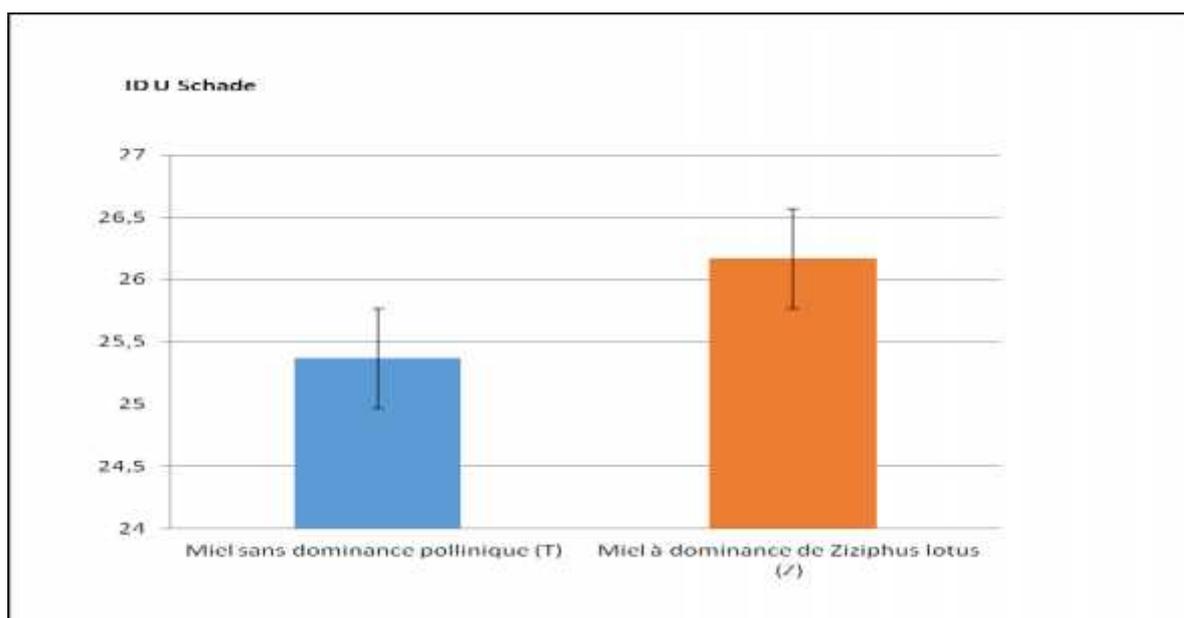


Figure 5.20. Indices diastases moyens des miels analysés

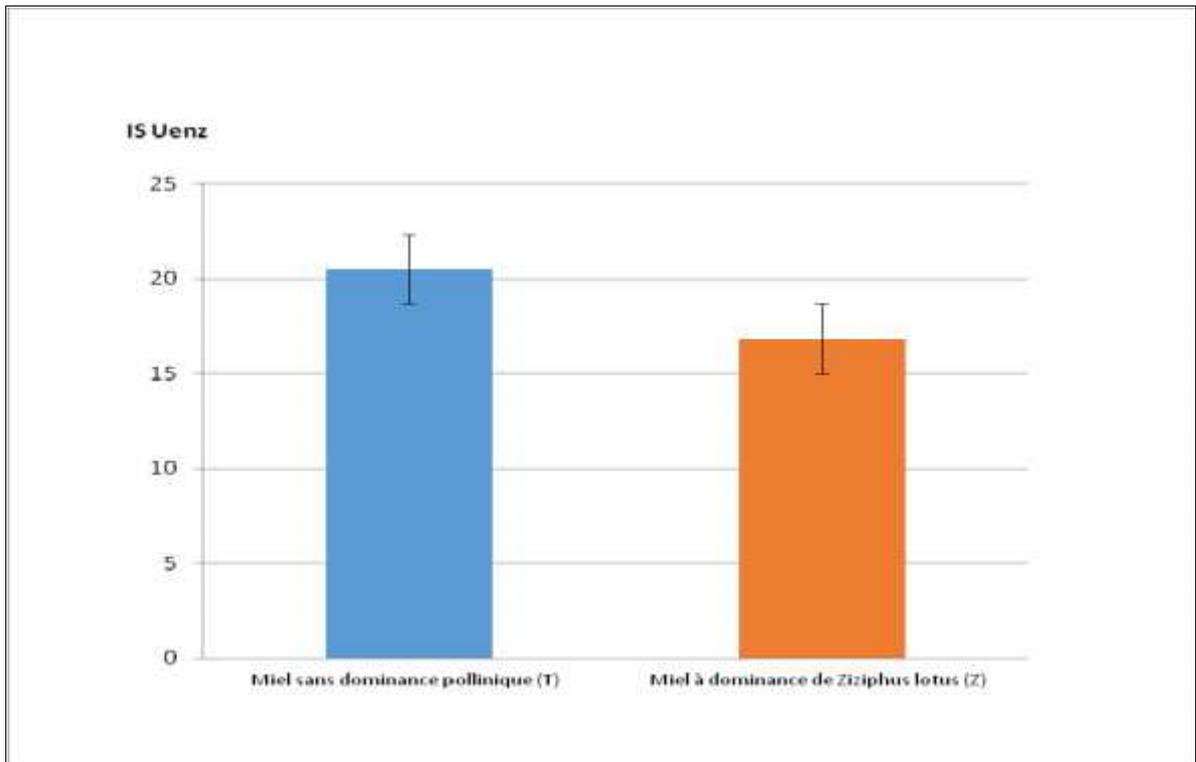


Figure 5.21. Indices saccharases moyens des miels analysés

Pour l'indice de diastase, la valeur minimale requise par la législation européenne est de 8 U. Schade. Tous les miels analysés ont des valeurs supérieures à 8 U. Schade. Concernant l'indice de saccharase, la législation européenne ne donne aucune valeur de référence.

L'activité des enzymes est influencée par la vitesse de la miellée et par le stade physiologique des glandes des abeilles pendant la période de production. WHITE [123] signale qu'une forte teneur en eau et en HMF implique une activité diastasique faible. PERSANO et al [124] rapportent que la saccharase est plus sensible à la chaleur que la diastase. La plupart des miels de qualité ont un indice saccharase entre 5 et 20 U.Kg⁻¹ [125]. La plus part des 38 échantillons de miels analysés (92.10% des échantillons) ont des valeurs de saccharase supérieures à 20 unités de Schade.

5.2.6. Profil glucidique des miels analysés

Le profil glucidique déterminé des miels de Djelfa est composé de deux monosaccharides, quatre disaccharides et de quatre tri saccharides tableau 8.

Tableau 5.8. Différents types de glucides présents dans les miels analysés

	Miels sans dominance (T) N=11	Miels à dominance (Z) N=27	Min-Max
Fructose			
Moyenne ±Ecartype	40,43±2,19	38,68±1,92	35,56- 42,54
Glucose			
Moyenne ±Ecartype	32,62±2,36	28,57±2,43	25,47- 36,76
Saccharose			
Moyenne ±Ecartype	0,62±0,46	1,03±0,91	0,02-3.06
Turanose			
Moyenne ±Ecartype	1,41±0,33	1,54±0,39	0,09-2.00
Maltose			
Moyenne ±Ecartype	4,4±0,71	4,65±0,93	2,21-5,98
Gentiobiose			
Moyenne ±Ecartype	0,20±0,15	0,34±0,13	0,01-0,59
Raffinose			
Moyenne ±Ecartype	0,06±0,02	0,10±0,16	0,03-0,91
Erlose			
Moyenne ±Ecartype	0,95±0,34	1,48±0,45	0,60-3,09
Mélézitose			
Moyenne ±Ecartype	0,12±0,11	0,21±0,08	0,02-0.43
Maltotriose			
Moyenne ±Ecartype	0,12±0,05	0,14±0,05	0,05-0,30

La figure 22 illustre que la somme moyenne des deux monosaccharides (fructose et glucose) est majoritaire et atteint 69%. Le codex alimentaire [5] et la directive européenne 2001/110/CE [6] et 2014/63/UE [7] placent une limite supérieure à 60% pour le total de ces monosaccharides majoritairement présents dans les miels

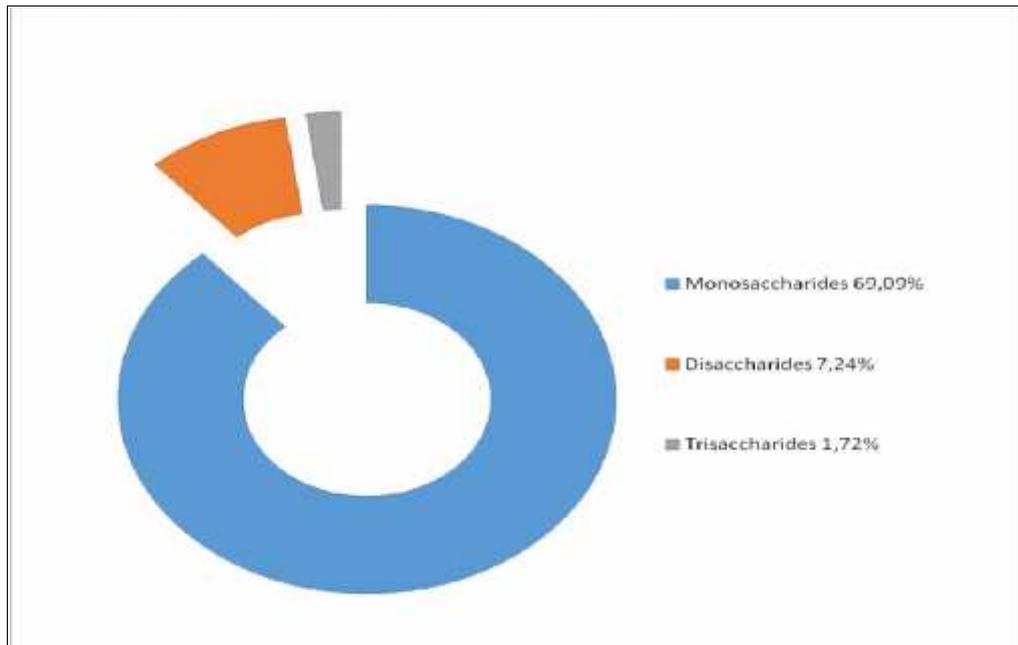


Figure 5.22 Profil glucidique des miels analysés

Le rapport fructose/glucose (F/G) donne des informations sur la cristallisation ou non du miel. Tous les miels analysés ont un taux de fructose supérieur à celui du glucose avec un rapport variant de 1,02 à 1,61. D'après BOGDANOV et al [43], lorsque le rapport F/G est supérieur à 1,3, le miel reste liquide. Cela concorde avec les résultats trouvés. Pour certains de nos échantillons (27, 37, 30, 32, 26 et 23) leurs rapports (F/G) oscille entre 1,48 et 1,61 ce qui expliquerait que ces miels ne présentent pas de signe de cristallisation.

Les miels à dominance de jujubier ont des valeurs moyennes de 38,68 % de fructose et 28,57% de glucose. Les miels de toutes fleurs (T) ont des moyennes plus élevées respectivement de 40,43% et de 32,62% (Fig.23).

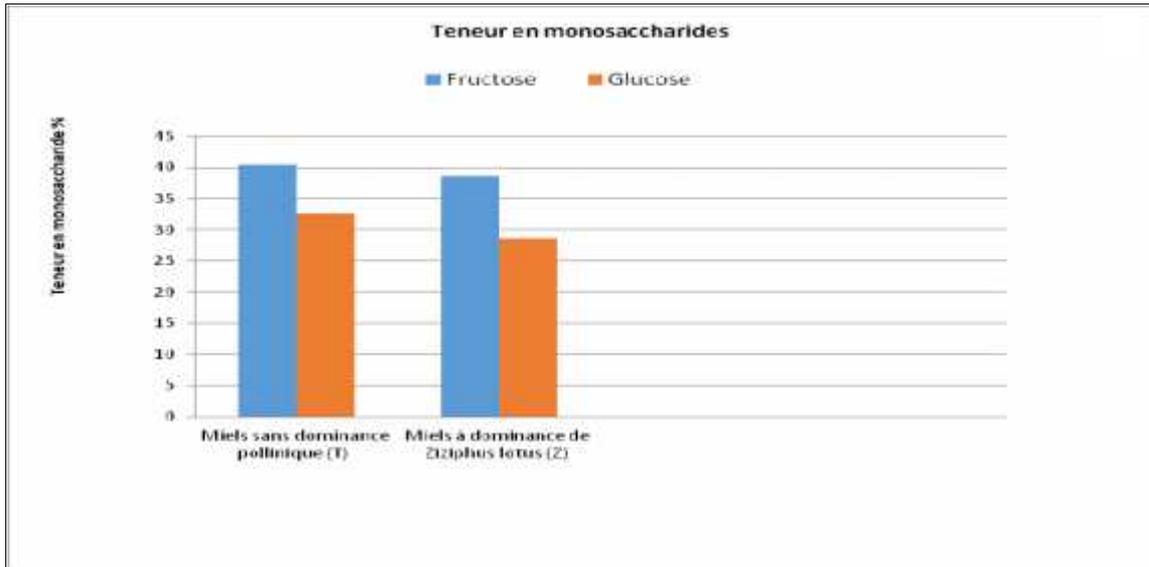


Figure 5.23. Teneurs moyennes en monosaccharides des miels (T) sans dominance pollinique et des miels (Z) à dominance de *Z. lotus*.

Les disaccharides sont représentés par le saccharose, le maltose, le gentiobiose et le turanose. Globalement, les miels (Z) renferment des teneurs en disaccharides légèrement plus élevées que celles des miels (T) de toutes fleurs (Fig. 24). Dans les miels (Z), les teneurs représentent 1,03% en saccharose, 1,54% en turanose, 4,65% en maltose et 0,34% en gentiobiose. Alors que les miels (T) présentent 0,62% de saccharose, 1,41% de turanose, 4,40% de maltose et 0,2% de gentiobiose.

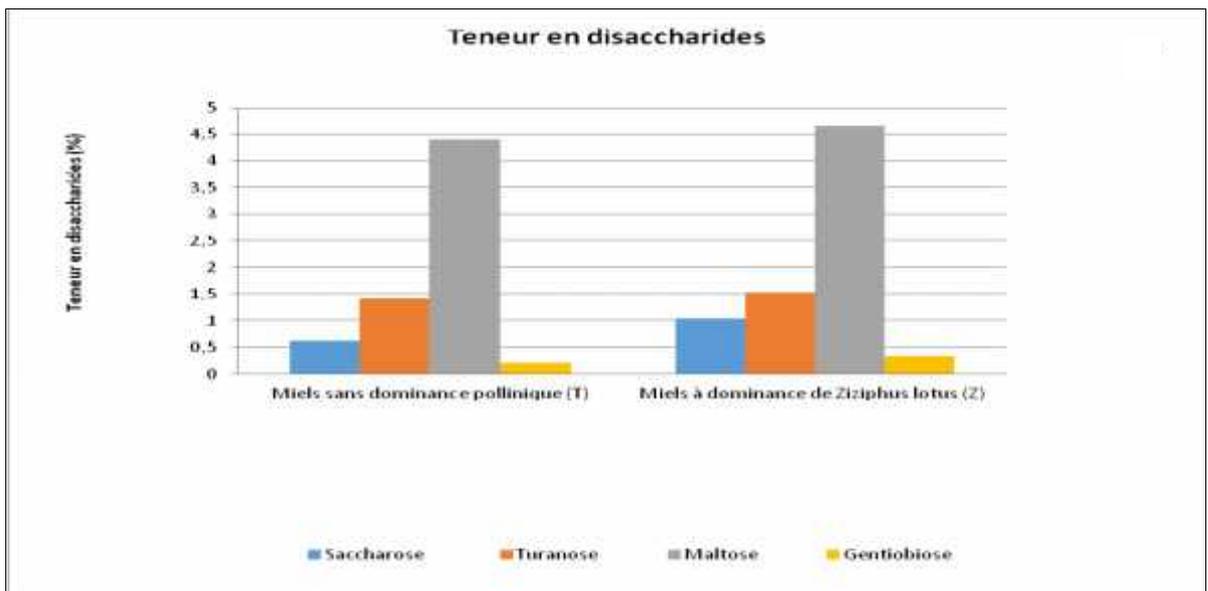


Figure 5.24. Composition moyenne en disaccharides dans les miels.

OUCHMOUKH et al [113] et MAKHLOUFI et al [115], dans les miels d'*Eucalyptus sp*, produits dans les régions nord de l'Algérie, ont révélé la présence d'un autre disaccharide notamment le trihalose. Ce composé est absent dans 38 échantillons que nous avons analysés.

D'après les résultats des analyses, la teneur en saccharose dans les miels de la région de Djelfa est conforme aux normes de qualité de la directive européenne, qui préconisent une valeur ne dépassant pas les 5%, à l'exception de certains types de miels tels que les miels de lavande, d'oranger et d'eucalyptus qui peuvent avoir jusqu'à 10% de saccharose.

Pour les trisaccharides, ils sont présents en faibles quantités dans tous les miels analysés. Cependant, il est constaté que les miels à dominance de jujubier présentent des moyennes plus élevées en erlose (1,48%), suivi du mélézitose (0,21%), du maltotriose (0,14%) et du raffinose (0,1%) par rapport aux miels sans dominance qui ont 0,95 % d'erlose, 0,12 % de mélézitose, 0,12% de maltotriose et 0,06% de raffinose (Fig.25).

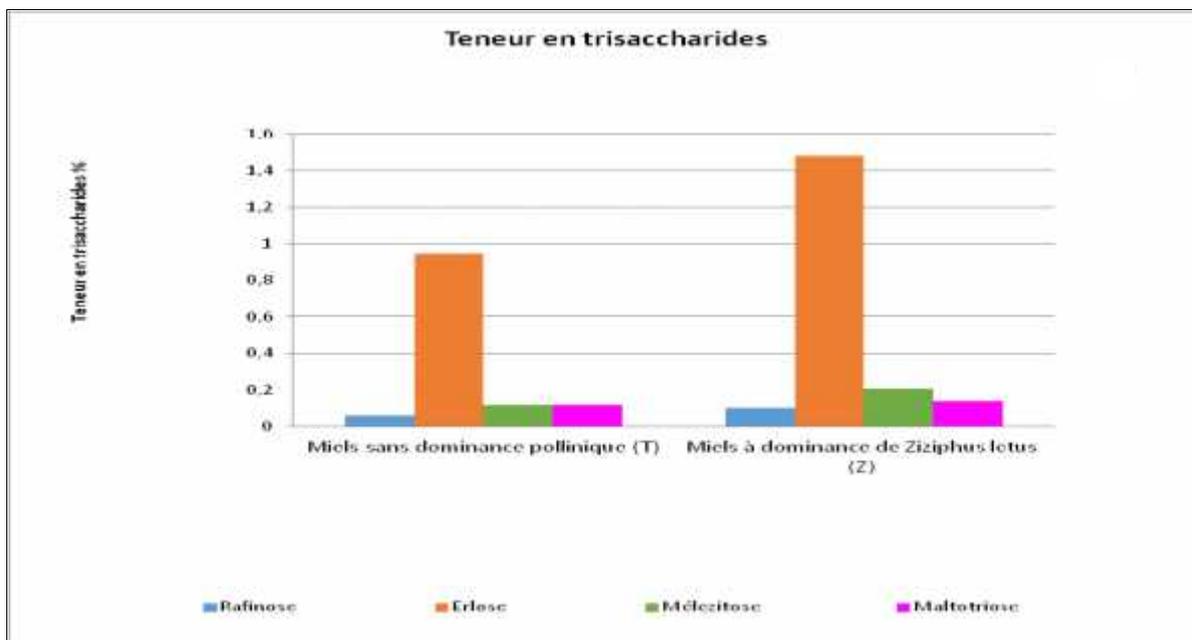


Figure 5.25 Teneurs moyennes en tri saccharides des miels

La législation internationale et européenne ne donnent aucune norme pour ces glucides. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en erlose sont plus élevées dans les miels à dominance de *Z. lotus*. Tandis que les teneurs (<0,2%) en mélézitose sont faibles dans les deux types de miels. Selon certains auteurs le mélézitose indique souvent

la présence de miellat [126]. Nos résultats concordent les travaux de COTTE [54] qui stipulent que le miel peut contenir de nombreux polysaccharides tels que mélézitose, l'érlose, le raffinose, le turanose, le tréalose avec des teneurs qui ne doivent pas dépasser les 2%. Les variations dans les teneurs en glucides contenus dans les miels pourraient s'expliquer par la présence des teneurs variables en sucres dans les nectars des fleurs butinées. L'origine de certains di ou tri saccharides est connue: le mélézitose résulte de la transformation du saccharose par les enzymes des pucerons ; le maltose, le turanose, le gentibiose et l'erlose sont formés par transglucosilation sous l'action de α -glucosidase que les abeilles secrètent [54, 57].

5.3. Analyses organoleptiques des miels

5.3.1. Mesure de la couleur

La figure 26 illustre les variations de l'indice de la couleur pour les miels analysés. L'indice de couleur des miels à dominance de *Z. lotus* varie de 61 à 99 mm Pfund ; ce qui correspond à une couleur allant du jaune ambré à marron clair. Les miels sans dominance pollinique ont une couleur allant de jaune or à roux avec un intervalle de couleurs entre 55 et 83 mm Pfund. Les deux types de miels analysés présentent des faibles variations de couleurs (55 à 99 mm Pfund).

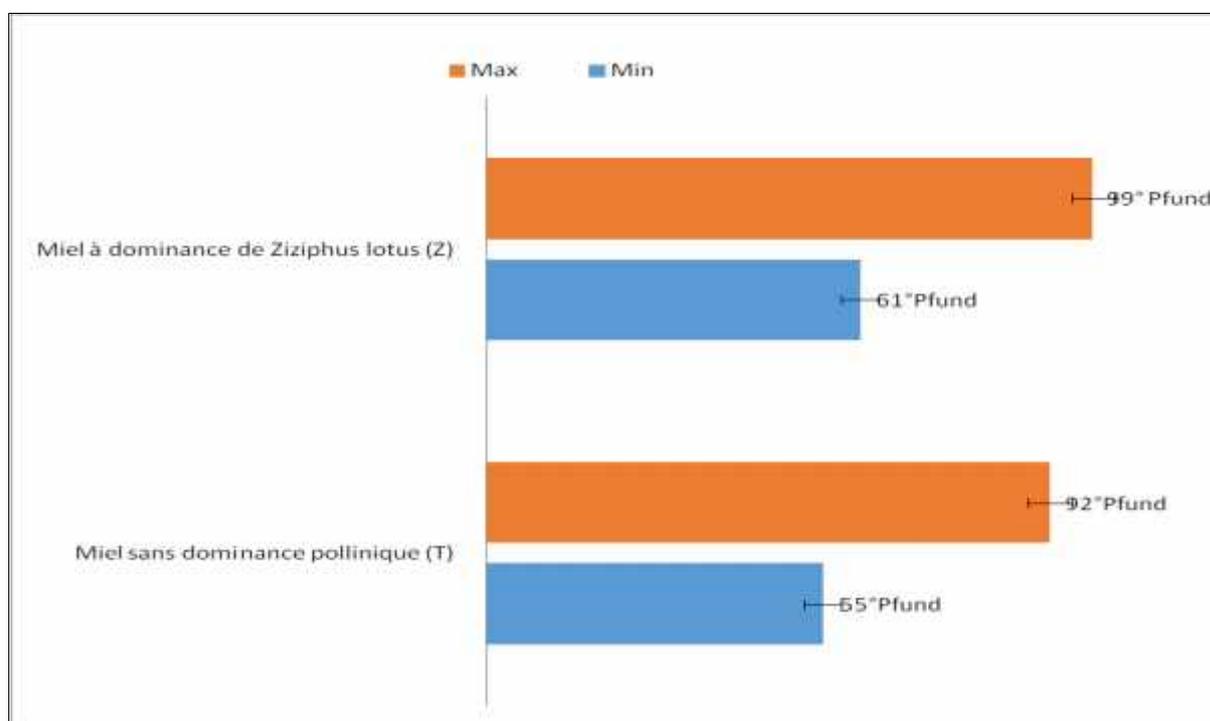


Fig. 5.26 Variations de la couleur des miels analysés

Des travaux rapportent que l'intervalle de couleur des miels algériens ont des indices allant de 18 à 119mm Pfund correspondant à un intervalle de couleur ; ce dernier est compris entre très clair pour les miels à dominance des pollens des espèces du genre *Citrus* et *Hedysarum* et marron foncé pour les miels à dominance des pollens des espèces du genre *Eucalyptus*, *Daucus* et *Rubus* [113, 115].

5.3.2. Description des arômes et saveurs

La description des arômes et saveurs repose sur les connaissances particulières du dégustateur, les références qu'il a acquises et sur son expérience.

Après analyse des fiches portant les descriptions sensorielles, nous avons établi le profil des arômes et des saveurs perçues dans les 38 miels analysés. L'intensité globale de l'odeur est moyenne à forte. Les classes odorantes déterminées par les dégustateurs sont le chaud, le floral/fruity, le boisé et l'avancé. Au niveau de la perception des arômes, l'intensité générale est moyenne, les classes aromatiques déterminées sont portés dans la figure 27.

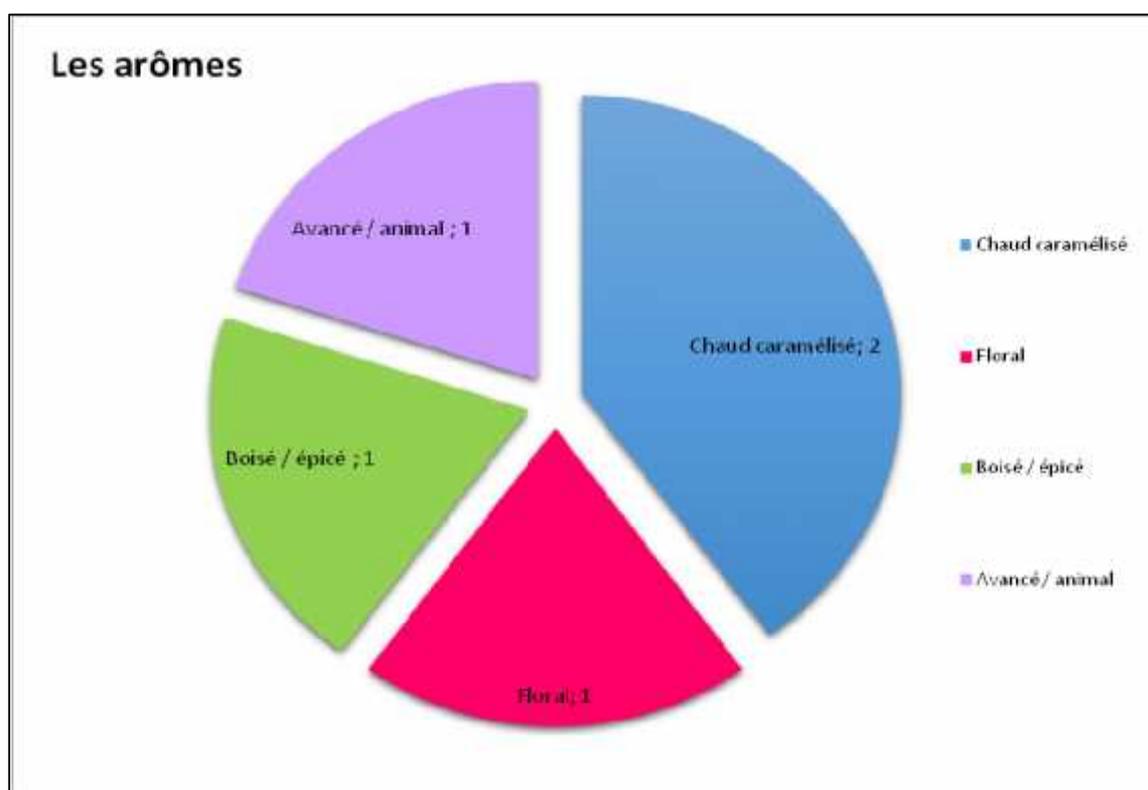


Figure 5. 27. Intensité aromatiques des miels

D'après les dégustateurs, tous les miels présentent les caractéristiques aromatiques suivantes: chaud caramélisé avec une intensité moyenne. Le boisé épice, le floral et l'avancé animal avec une intensité faible. Ce dernier arôme n'a pas été perçu pour les échantillons de miels (T) sans dominance polliniques. La perception de l'arôme avancé animal est spécifique aux miels à dominance de *Ziziphus lotus*. Les saveurs caractéristiques des miels analysés sont synthétisées dans la figure 28.

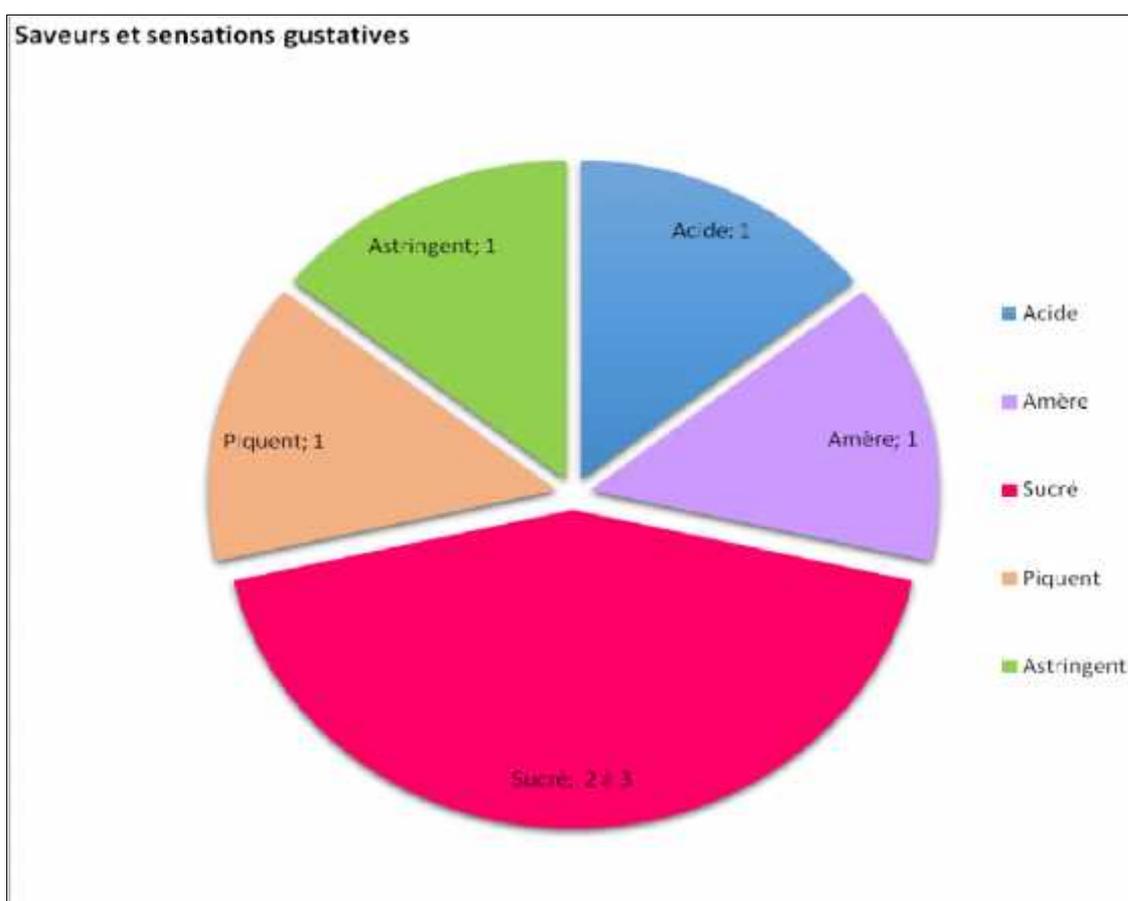


Figure 5. 28. Intensité des saveurs des miels

La forte intensité de saveur sucrée serait causée par les teneurs en fructose qui sont supérieures à celles du glucose. Les sensations acide, astringent et amère sont perçues à une faible intensité. La sensation de la saveur piquante n'est perçue que pour certains échantillons (14, 18, 20, 27, 28, 30, 35, 37). L'analyse pollinique de ces échantillons montre la présence du pollen d'*Euphorbia bupleuroides* soit en accompagnement avec des taux allant de 16 à 45 % ou en isolés avec des taux allant de 3 à 16 % (Tab. 6). Le nectar d'*Euphorbia bupleuroides* donne une note piquante au miel; ceci est confirmé par le

référentiel des miels mono floraux établis par le laboratoire précisant que les miels issus des nectars des espèces de la famille des *Euphorbiaceae* présente une saveur piquante.

5.4. Traitement statistique des résultats

Le traitement statistique des résultats est basé sur une analyse des composantes principales avec un cercle des corrélations. L'ACP permet de représenter les échantillons en tenant compte de toutes les variables étudiées. Le graphique suivant (Fig. 29) permet de choisir un nombre de composantes principales.

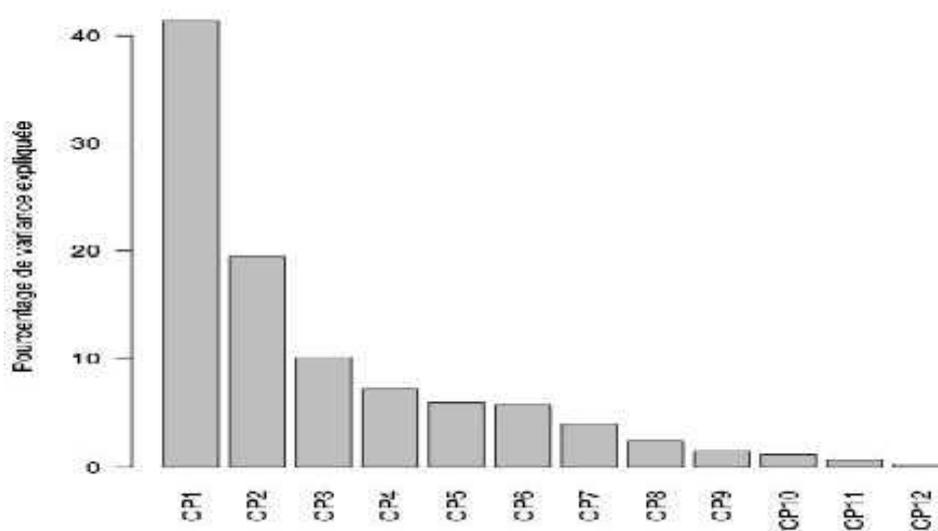


Figure 5.29. Valeurs en pourcentage des composantes principales

5.4.1. Répartition géographique des échantillons

La figure 30 illustre la répartition géographique des échantillons selon les deux premières composantes représentant 61,50 % de la variabilité. Les miels des localités du centre (C) (en noir sur la figure) sont bien séparés des autres localités du sud (S) (en vert) et du nord (N) (en rouge). Quelques échantillons se trouvent à l'extérieure de ces groupes.

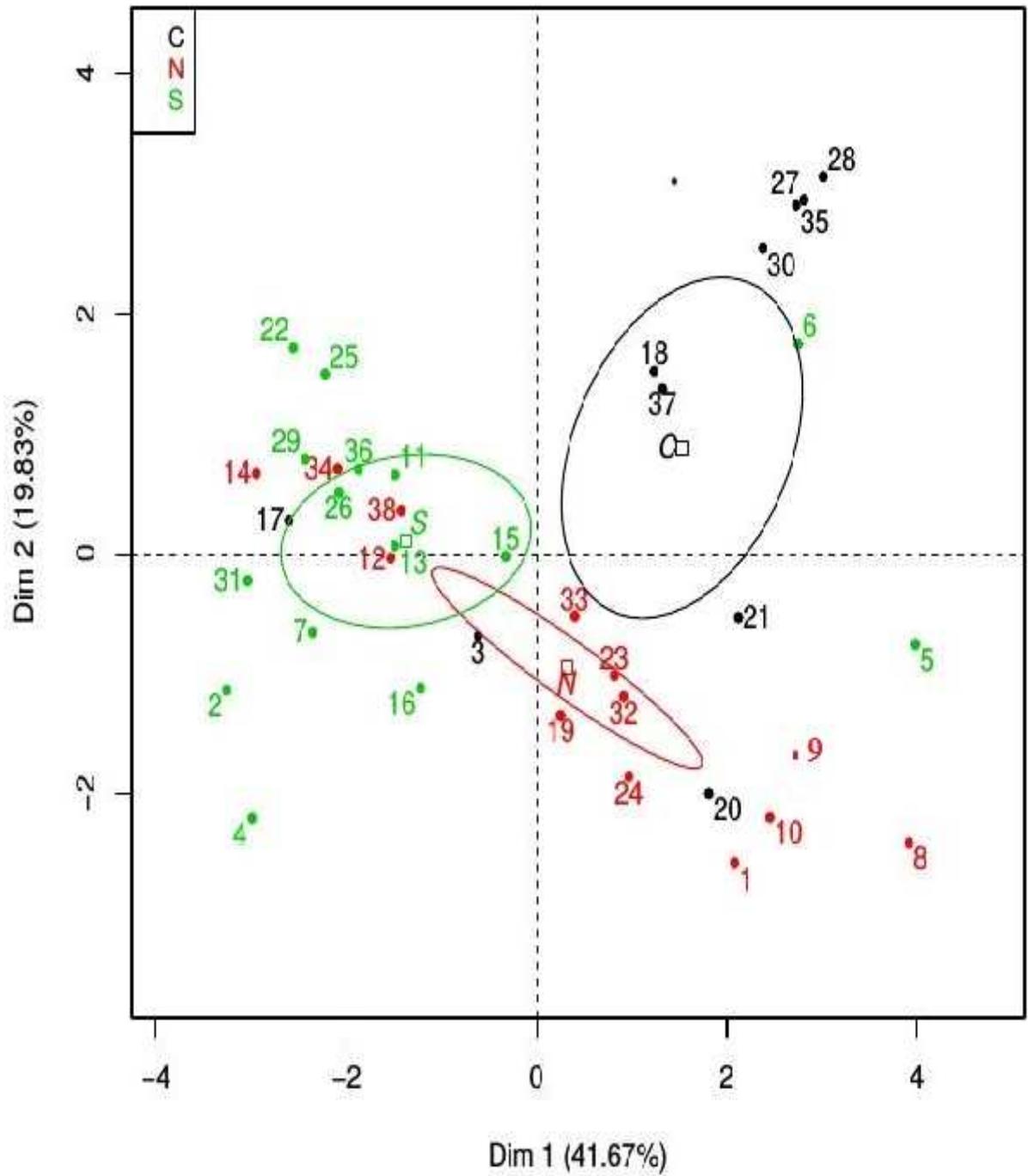


Figure 5.30 Répartition des échantillons sur les deux premières composantes en fonction de leurs localités

L'axe horizontal, Dim 1, du graphique montre via les ellipses que les stations à gauche sont caractérisées par des miels ayant un pH initial et des teneurs en saccharose élevées ; alors que les stations sur la droite caractérisent les miels ayant une acidité libre et une teneur en glucose élevée.

L'axe vertical, Dim 2, du graphique montre que les stations situées dans le haut regroupent les miels qui ont un IS globalement plus important ; alors que plus on va vers le bas et plus l'humidité est importante. Par conséquent le groupe N contient des échantillons avec des taux d'humidité plus élevés, moins de maltose et des IS plus faibles que ceux des autres localités. Le groupe C est caractérisé par des échantillons avec plus de glucose et de fructose, plus d'acidité libre, des IS plutôt important, des pH initiaux et des taux d'humidité plus faibles que ceux des échantillons du nord. Enfin, le groupe S comprend des échantillons ayant un pH initial élevé et une teneur en saccharose assez élevée, une faible acidité libre et une plus faible concentration en glucose. En réalisant une classification hiérarchique, les échantillons sont regroupés en fonction de leur similarité dans les paramètres physicochimiques (Fig. 31).

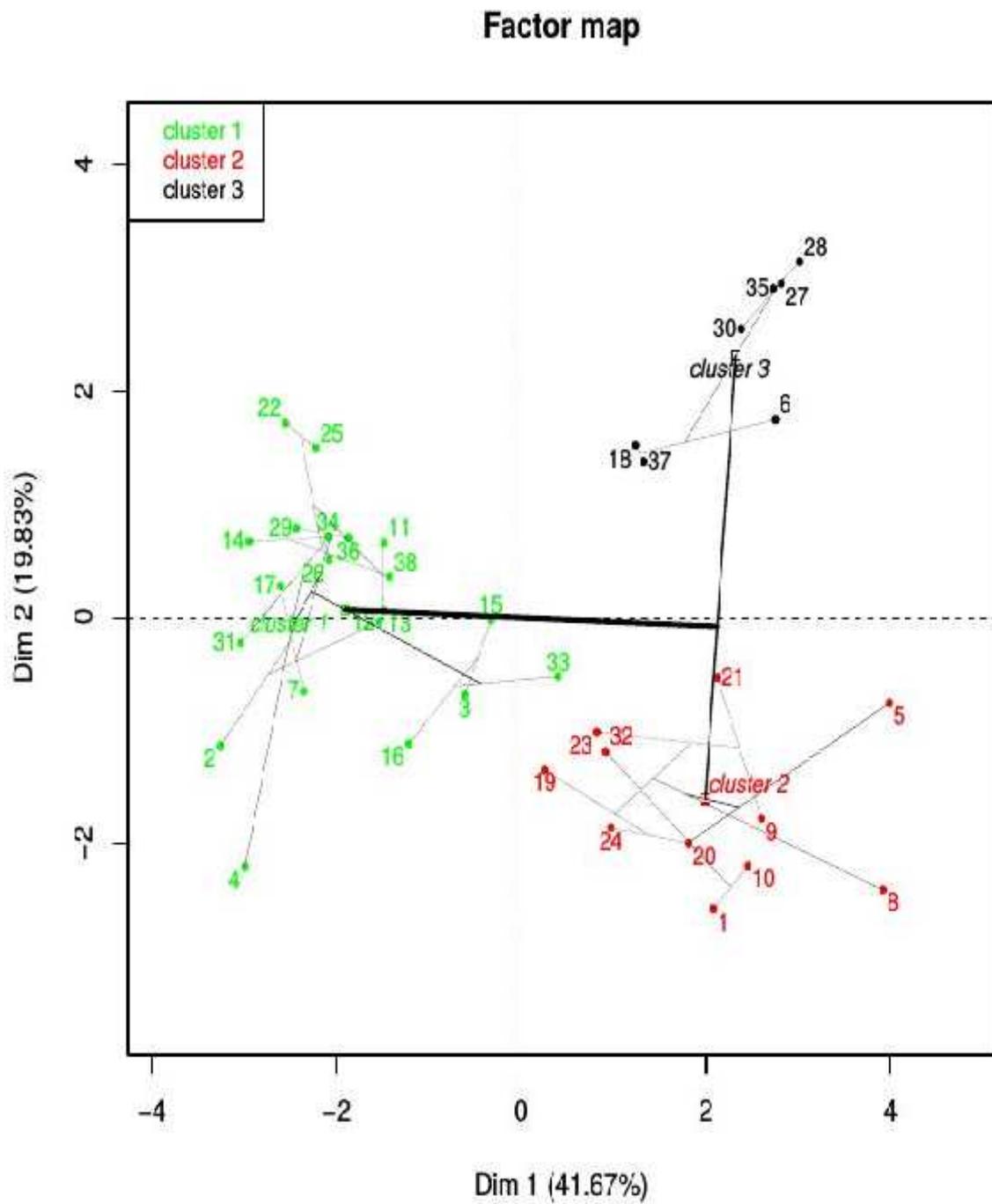


Figure 5.31. Clustering des différents échantillons en fonction de leur similarité de propriétés physicochimiques

5.4.2. Composition pollinique.

Un cluster effectué sur la composition pollinique des différents échantillons permet de regrouper les taxons en fonction de leurs distributions et leurs pourcentages polliniques (Fig. 32). Un groupe (A) avec *Z. lotus* est clairement séparé de l'ensemble. Deux groupes (B, C) à composantes florales distinctes. A l'heure actuelle, il est difficile de faire la relation entre le pourcentage pollinique, la répartition géographique des échantillons et la composition de la végétation.

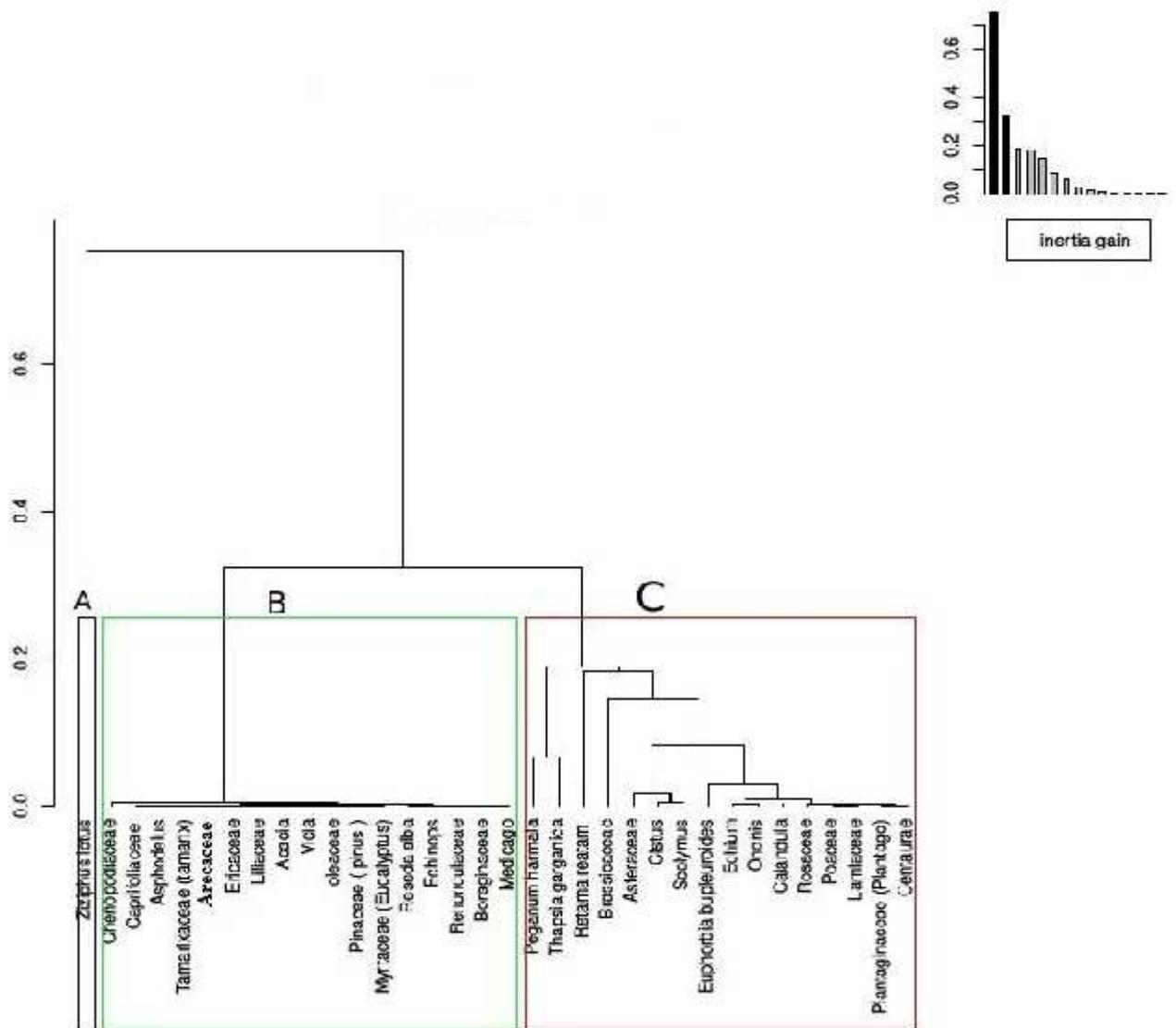


Figure 5.32. Dendrogramme regroupant les taxons en fonction de leurs pourcentages polliniques dans les miels analysés.

Sur la base des données polliniques et de l'ensemble des variables physicochimiques, nous avons établi des corrélations entre les différents paramètres physicochimiques (Fig. 33).

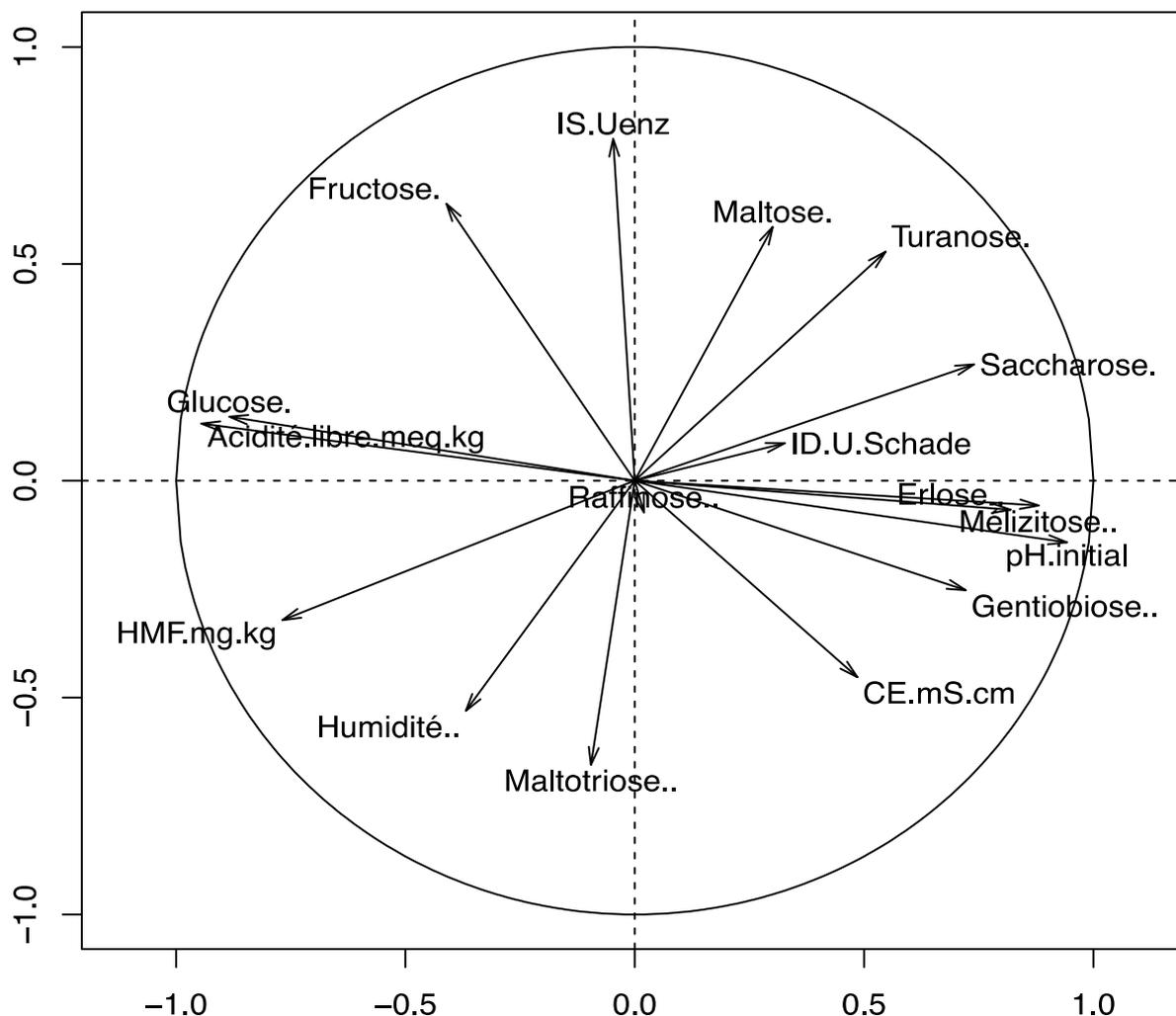


Figure 5.33. Cercle des corrélations des différentes variables physicochimiques en fonction des groupes polliniques.

Selon la figure 33, lorsque les flèches se superposent ou sont opposées, les deux variables sont très corrélées ou inversement corrélées. Si les deux flèches forment un angle droit, les deux variables sont indépendantes l'une de l'autre. Ces corrélations pourraient servir pour caractériser les groupes d'échantillons à dominance de *Z.lotus* (Z) et sans dominance pollinique (T).

La figure 34 donne une représentation des échantillons sur les deux premières composantes de l'ACP qui représentent respectivement 39,51 et 16,96 % de la variabilité totale.

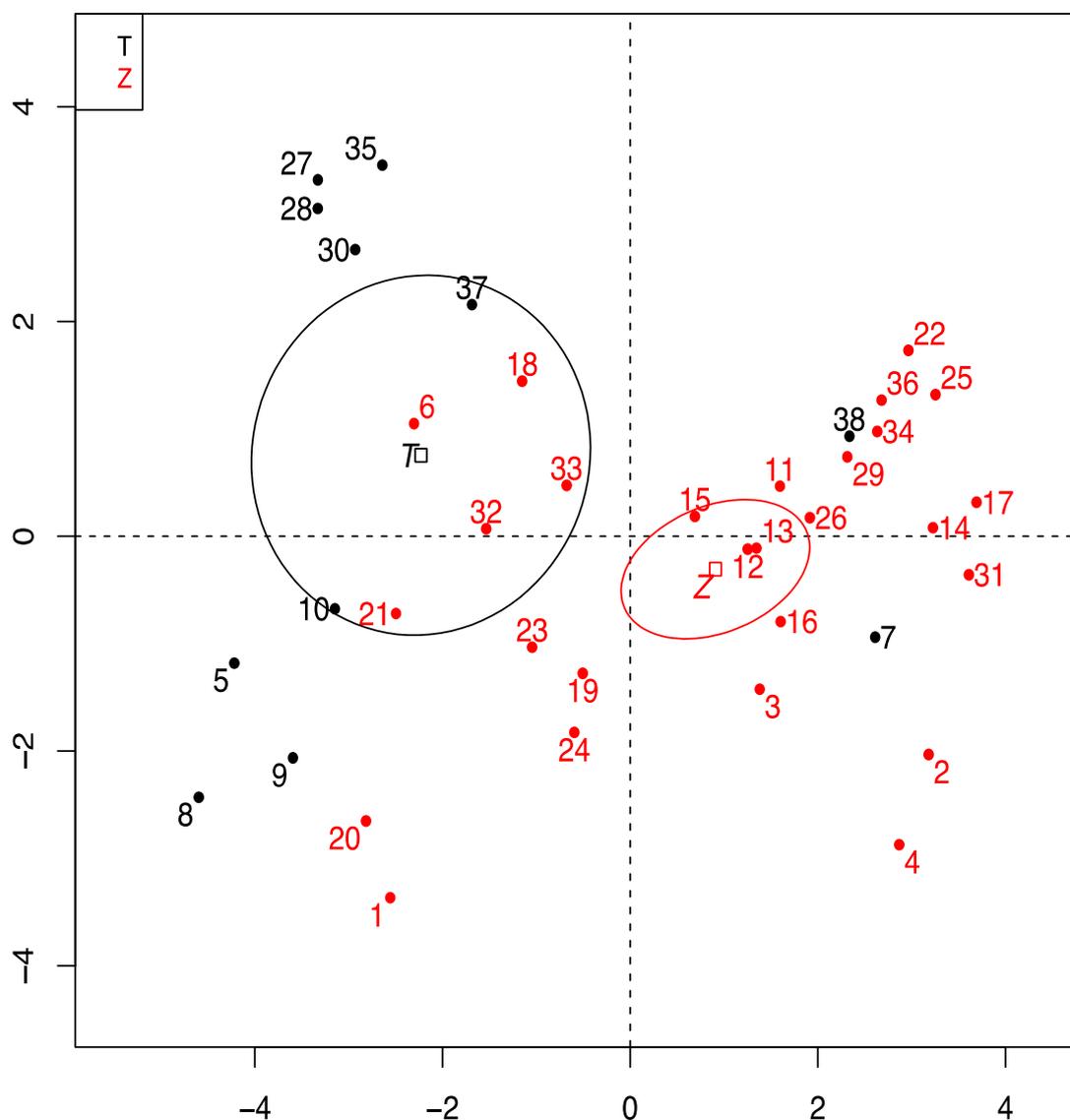


Figure 5.34. Répartition des échantillons de miels sur les deux premières composantes de l'ACP en fonction des groupes polliniques

Les échantillons à dominance de *Z. lotus*(Z) figurent sur la droite de l'axe 1; alors que les échantillons de toutes fleurs (T) sont en majorité à gauche. Parmi les paramètres variables, le pH, la conductivité électrique, l'indice de diastase, le mélézitose, l'erlose, le saccharose, le gentiobiose et le turanose, sont plus élevés pour les miels de type Z; alors

que les miels de type T se caractérisent par de plus hautes valeurs d'humidité (teneur en eau), d'HMF, d'acidité libre de glucose et de fructose.

Les analyses statistiques montrent bien les interrelations entre les paramètres physicochimiques et polliniques. Une différence géographique apparaît clairement lorsque l'on considère les trois régions de récolte (nord, centre, sud). Selon la composition pollinique, deux groupes apparaissent : le groupe des miels à dominance *Z.lotus* (Z) et le groupe des miels sans dominance (T). Quelques échantillons font exception et se trouvent hors de leurs groupes. Ainsi, la plupart des miels (Z) qui se trouvent dans le groupe des miels (T) ont une fréquence pollinique de *Z. lotus* inférieur à 70%.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude décrit les caractéristiques physico-chimiques et polliniques de 38 miels provenant de 11 localités situées au Nord, au Centre et au Sud de Djelfa. Les résultats obtenus montrent la présence de deux types de miels : les miels à dominance de *Z. lotus* (Z) et les miels de toutes fleurs sans dominance pollinique particulière (T).

Tous les miels sont conformes aux normes de qualité exigées par le Codex Alimentarius et la Directive européenne. La plupart des miels (Z) se caractérisent surtout par un taux d'humidité faible, une conductivité électrique, un indice de diastase et un pH initial élevés. Ils sont aussi caractérisés par la présence plus élevée en sucres mineurs (saccharose, maltose, turanose, gentiobiose, mélézitose, erlose).

Les miels (T) se caractérisent par des taux d'humidité plus élevés et les plus hautes valeurs d'acidité libre, d'HMF, de fructose et de glucose. Les résultats de l'analyse pollinique font apparaître la dominance des pollens de *Z. lotus*, ils confirment l'importance de ce taxon comme source mellifère principale dans cette région. Quelles que soient leurs localités de production. Le nectar de *Ziziphus lotus* donne au miel des caractéristiques physico-chimiques particulières comme un pH plus élevé et une abondance plus importante de certains sucres mineurs.

La caractérisation du miel est basée à la fois sur des analyses physico-chimiques, polliniques et organoleptiques. L'analyse pollinique est plus difficile à interpréter car les pollens présents dépendent beaucoup de la flore avec des particularités liées à la sur ou sous-représentations de certains pollens. Elle est cependant importante pour établir la base d'un référentiel pollinique permettant de caractériser l'origine géographique des miels.

Les résultats obtenus sont très importants pour les programmes de valorisation des miels et leur protection par un signe de qualité et/ou une appellation géographique. Cette démarche présente une réelle opportunité pour l'amélioration de la qualité et la conservation des miels de terroir. Les caractéristiques déterminées participent à la mise en place d'une banque de données référentielles pour les miels de la steppe algérienne, notamment ceux de la région de Djelfa. Cette région semi-aride constitue une zone de grande transhumance des abeilles pour la production du miel de *Z. lotus* (jujubier), espèce d'une grande importance pour l'apiculture en cette région.

Les travaux réalisés sur les miels des zones steppique méritent d'être généralisés dans d'autres zones géographiques afin d'identifier leur potentialité et établir une carte de répartition des grandes zones de production de miel. La caractérisation des miels constitue une étape indispensable à tout programme de commercialisation et, est considérée comme un précurseur pour le développement de cette filière en zones steppique.

Les résultats obtenus nous ont permis de dégager les perspectives suivantes :

- Une approche multidisciplinaire devrait être adoptée pour une meilleure caractérisation des miels. La réalisation des analyses physico chimiques, polliniques et organoleptiques sur une plus large gamme d'échantillons aboutirait sur des résultats pouvant être une base de données pour établir les normes propres aux miels d'Algérie et d'Afrique du nord,
- Le repérage des zones de production de miels de qualité, l'identification des marqueurs floraux et la création d'un référentiel pollinique,
- La mise en place d'un organe de contrôle des miels en incluant les trois types d'analyses des miels.
- La biodiversité végétale en Algérie permet la production de miels de qualité ainsi la recherche sur les miels est à promouvoir afin d'identifier les miels originaux de certains écosystèmes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Nedjraoui, D. et Bedrani, S., "La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte", *Vertigo*, V.8, n°1, (2008), 1-15.
2. Hance Th., "Biodiversité : un enjeu à l'échelle de l'humanité", *Rev. Questions Sci.*, V.182, n°1, (2011), 85-98.
3. Gallai, N., Salles J.-M. et Vaissière, B.E., "Évaluation de la contribution économique du service de la pollinisation à l'agriculture européenne. *Bull. Techn. Apicole*, V.36 n°2, (2009), 110-116.
4. Bencherif, S., "L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne: Évolution et possibilités de développement " Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris, France, (2011), 269p.
5. Codex Alimentarius, "Codex Standard 12, Revised Codex Standard for Honey, Standards and Standard Methods", V.11, (2001), <http://www.codexalimentarius.net>, (14/07/2009).
6. Conseil de l'Union européenne, "Directive 2001/110/CE du Conseil du 20 décembre 2001 relative au miel", *J. Off. Communautés Eur.*, L10, (2001), 47-52.
7. Conseil de l'Union européenne et Parlement européen "Directive 2014/63/UE du 15 mai 2014 modifiant la directive 2001/110/CE", *J. Off. Union Eur.*, L164, (2014),1-5.
8. Louveaux, J., "Les abeilles et leur élevage", Ed. Hachette, Paris, (1985), 235p.
9. Guerriat, H., "Valeur apicole des haies dans l'Entre Sambre et Meuse", *Rev. Apic. Abeilles & Cie.*, n°73, (1999), 24-28.
10. Pesson P. et Louveaux J., "Pollinisation et production végétale", Ed. INRA, Paris, (1984), 663p.
11. Jean-Prost. P., "L'apiculture. Connaître l'abeille .conduire le rucher", 6ème édition Lavoisier, France, (2005), 597p.
12. Rabiet, E., "Abeilles et pollinisation", Ed. RABIET, Jonzac, France, (1986), 320p.
13. Pariot E., "Les sources de nectar aux Etats-Unis", *Gazette apicole*, n° 878, (1981), 125-134.

14. Rabet, E., "Plantes mellifères plantes apicoles", Ed. RABIET, Jonzac, France, (1981), 194p.
15. Louveaux, J., "Anatomie de l'abeille". Bull. Tech. Api., V.16, n°3, (1989), 67-69.
in : Guide pratique de l'apiculture. Ed. OPIDA.
16. Winston, M. L., "La biologie de l'abeille", Ed. Frison Roche, Paris, (1993), 276 p.
17. Pelt, J.M., "Les Plantes : amours et civilisations végétales", Ed. Fayard, Paris, (1981), 22-46
18. Biri, M., "Le grand livre des abeilles : l'apiculture moderne", Ed. Vecchi, (1999), 259p.
19. Zandonella, H., Dumas, E. et Gaudet, A., "Sécrétion et biologie florale : origine et rôle de la sécrétion dans la pollinisation", Apidologie., V, 12 n° 4, (1981), 383-396.
20. Bocquet, M., " Flore mellifères", Bull. Tech. Apic., V.28, n°2, (2001), 93- 96, In : Guide pratique de l'apiculture, Ed. OPIDA, Echaffour.
21. Briane, G., "Une carte des miellées. Essai de cartographie des ressources mellifères", Les Carnets du CARI, n°20, (1989), 3-12.
22. Von Frisch., "Vie et mœurs des abeilles ", Ed. Albin Michel, Paris, (1969) ,256 p.
23. Bureau, E. et Schul J.M., "Les pollens, reflets de nos régions", Les Carnets du CARI, n°16, (1988), 54-66.
24. Seeley, T. D., "Écologie de l'abeille", Ed. Lambermont, (1984), 164 p.
25. Southwick, E. et Schreflère, J., "Nectar supplay foraging and pollinisation by bees ", Ed. INRA, (1984),99 p.
26. Yakhlef, H., "des insectes pollinisateurs de trois rosacées fruitières et étude de leur pollinisation dans la région de Boufarik", Thèse Magister. INA. el Harrach. Alger, (1985),113p.
27. Bruneau, E., "Étude des miellées", Abeilles & Cie, n°64, (1998), 16-18.
28. Philippe, J.M. "La pollinisation par les abeilles", Ed. Edissud, Aix en Provence, (1988), 356p.
29. Chauvin, R., "Le miel ", in : La ruche et l'homme, Ed. Clamann-Lévy, (1987), 27-76.
30. Bogdanov, S., Ruff, K., Persano Oddo, L., "Physico-chemical methods for the caractérisation of unifloral honeys", Apidologie, n° 35, (2004), 4-17.
31. Gonnet, M., "Le miel : composition, propriété et conservation", Ed. OPIDA Echaffour ,France, (1982), 21-22.

32. Jeanne, F., " Le miel de miellat, origine, nature et composition", Bulletin Technique Apicole, V. 31, n°2, (2004), 87-92.
33. Donnadiou, Y., "Le miel, Thérapeutique naturelle", 3^e Ed. Lib. Maloine, Paris, (1984), 21-33.
34. Schivre, E., "L'abeille, ses produits de sécrétion et leurs utilisation thérapeutiques", Thèse de doctorat, Université de Nancy, (2003),73p.
35. Lobreau–Callen, D., Clément, M-C., and Marmion, V., "Les miels", In Techniques de l'ingénieur, (1999) ,1-20
36. Bruneau, E., "Le miel", In traité Rustica de l'apiculture, Ed. Rustica, (2002),354-364.
37. Gout, J., "Le miel", Ed. Jean-Paul Griseront, Paris, (2009), 64 p.
38. Clément, H et Garand, R., "La filière Apicole : Le Marché en France et dans le monde", Revue UNAF, (2006), 6p.
39. Gout, J. et Jardel, C., "Le monde de miel et des abeilles", Ed. Michel Larrieu, (1998), 157p.
40. Arron, S et Passera, L., "Les sociétés d'insectes", In les societies animal, Ed. De-Boeck, (2000), 97-171.
41. Bruneau, E., "Les produits de la ruche", Ed. Rustica, (2004), 354-384.
42. Anklam, E, Radovic, B., "Suitable analytical methods for determining the origin of European honey", Am Laboratory, (May 2001), 60-6.
43. Bogdanov, S., Martin, P., Lüllmann, C., "honey quality and international regulatory standard international honey commission", bee world, V.80, (1999), 1-69.
44. Gonnet, M. et vache, G., "Le gout du miel: analyse sensorielle et les applications diverses d'une méthode d'évaluation de la qualité des miels", Ed. UNAF, Paris, (1984), 146p.
45. Anklam, E., "A review of analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey", Food Chem., n° 61, (1998), 549-620.
46. Louveaux, J., "Le miel", Cah.nutr.diét., (1985), n°20,57-70.
47. Chataway, H.D., "honey tables scowing the relationship between various hydrometer scales and refractive index to moisture content and weight per gallon of honey" Can. bee J., (1935), n°43, p215.
48. Tyssier, P., "Le miel, objectif qualité", Fruits&abeille, (2005) ,275-277.

49. Gonnet, M., "L'analyse des miels, description de quelques méthodes de contrôle et l'évaluation de la qualité des miels", *bull. tech. Apic. V. 13, n° 1*, (1986), 17-36.
50. Gonnet, M., "le problème de l'HMF dans le miel", *Revue française d'apiculture*, n°301, (1992), 54-56.
51. Marceau, J. Noreau, J et Houle, E., "Les HMF et la qualité du mie", *Fédération des Apiculteurs du Québec. Service de zootechnie, MAPAQ., V.15, n° 2*, (1994), 1-4.
52. Sanz, M.L. Gonzalez, M. De Lorenzo, C., Sanz, J and Martinez-Castro I., "Carbohydrate composition and physicochemical properties of artisanal honeys from madrid (Spain) : occurrence of *Echium sp* honey", *Journal of the science food and agriculture*, V.84, (2004), 1577-1584.
53. Bogdanov, S., Martin, P. & Lüllmann C., "Harmonised methods of the European Honey Commission", *Apidologie*, V.28 (extra issue), (1997), 1-59.
54. Cotte, J. F., Casabianca, H., Chardon, S., Lheritier, J., & Grenier-Loustalot, M. F., "Chromatographic analysis of sugars applied to the characterisation of monofloral honey", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, n°380, (2004), 698-705.
55. Gonnet, M., " La cristallisation du miel", *Le bulletin technique apicole*, n°13. (1985), 48-56.
56. Arrêté du 15 février 1977 relatif aux méthodes officielles d'analyses du miel. *J Off Rép Fr* (1977-04-22).
57. Ruiz-Matute, A.I., Brokl, M., Soria, A.C., Sanz, J and Martinez-Castro I., "GAS Chromatographic mass spectrometry characterisation of tri and tetrasaccharides in honeys", *Food chemistry*, n°120, (2010), 637-642.
58. Gonnet, M., "Vieillesse des miels, que faut- il contrôler ?", *Revue française d'apiculture*, n° 505, Paris, (1991), 111-112.
59. INAO. Directive 2008 -02 relative à la commission de l'examen organoleptique, Paris, (2008), 10p.
60. Declerck, C., "Un lexique d'odeurs et d'aromes pour les miels", *Abeilles&Cie.*, n°65, (1998), 1-10.
61. Gonnet, M., " La technologie appliquée à la préparation des miels de qualité", *Abeille de France*, n° 805, (1995), 260-262.
62. Aubet, S., Gonnet, M., Jourdan, P., "Technique de réflectométrie usuelle pour la mesure de la couleur des miels", *Apidologie*, n° 303, (2004). 11p.

63. Schweitzer, P., "La cristallisation de miel", *Abeille de France*, n° 903, (2007), 15-17.
64. Castro-vázquez L., Diaz-Maroto M.C. and Pérez-Coello M.S., "Aroma composition and new chemical markers of spanish citrus honeys", *Food chemistry*, n°103, (2008), 601-606.
65. Persano Oddo L., Piro R., "Main European uni- floral honeys, Descriptive sheets", *Apidologie*, n°35 (Suppl. 1), (2004), 38-81.
66. Ssanchou, S., "Détermination directe d'un idéal sensoriel", in évaluation sensorielle, manuel méthodologique, Ed. Tec&Doc, Lavoisier, (2009), Collection Sciences et techniques agroalimentaires.
67. Piana, M.L, Persano Oddo, L., Bentabol, A. Bruneau, E. Bogdanov, S. Declerck,G., "Sensory analysis applied to honey", *Apidologie*, V.35, (2004), 26-37.
68. Louveaux, J., "Etude expérimentale de la récolte de pollen", In: *Traité de biologie de l'abeille*. Ed. Masson, (1968), 174p.
69. Battesti, M.J. et Goery, C., "Efficacité de l'analyse melissopalynologie quantitative pour la certification des origines géographiques et botaniques des miels : le modèle des miels corses", *Rev. Paleobot.Palynol.* n°75, (1992), 77–102.
70. Pfister R. "Versuch Einer Mikroskopie des Honigs", *Forschungsbereich, Lebensmittel, Bez. Hyg. for chem. Pharm.* n°2, (1895), 20-25.
71. Maurizio, A., Louveaux J., "Pollens de plantes mellifères d'Europe", *Union des groupements apicoles français*, Paris, (1965), 9-15.
72. Maurizio, A., "how bees make honey, a comprehensive survey", Ed. Crane, Heinemann, London , (1979),77-153.
73. Planchais, N., "Le pollen de quelques papilionacées méditerranéennes et sub méditerranéennes", *Pollen et spores VI*, n° 2, (1964) 115-126.
74. Zander, E. (1935, 1937, 1941, 1949, 1951) *Beitrage zurHerkunftsbestimmung bei Honig. Pollen gestaltung und Herkunftsbestimmung bei Blütenhonig*,Bd. I Berlin, Verlag der Reichsfachgruppe Imker.Bd. II Leipzig, Liedloff, Loth u. Michaelis. Bd. III Leipzig, Liedloff, Lothu. Michaelis. Bd. IV München, Ehrenwirth. Bd. V Leipzig, Liedloff, Lothu. Michaelis.
75. Louveaux, J. Maurizio, A. and Vorwohl, G., "Methods of Melissopalynology", *int. comm.bee bot. of IUBS. Bee World*, n° 59 (4), (1978), 139–157.

76. Louveaux, J., "Application des méthodes de l'analyse pollinique à des produits au miel", *L'apiculteur Sec. Sc.*, (1958), 100-250.
77. Lobreau-Callen, D. Darchen, R. et Le Thomas, A., "Apport de la Palynologie à la connaissance des relations abeilles/plantes en savanes arborées du Togo et du Bénin. *Apidologie*, V. 17, n°4, (1986), 279-306.
78. Schweizer, P., "L'analyse pollinique des miels", *Revue Abeille de France*. (2005), 13p.
79. Lutier, P.M., Vaissière B.E., "An improved method for pollen analysis of honey", *Rev. Paleo-bot. Palynol.* n°78, (1993), 129-144.
80. Vorwohl G. "the microscopic analysis of honey, a comparaison of its methods with those of the other branches of palynology. *Rev.paleobot*, V.3, n°14, (1967), 287-290.
81. Gadbin, C., "L'intérêt de l'acétolyse en méliissopalynologie", *Apidologie*, V.10, n°1, (1979), 23-28.
82. Persano Oddo, L. Piazza, M.G. Sabatini, A.G. Accorti, M., "Characterization of unifloral honeys", *Apidologie*, n° 26, (1995) 453-465.
83. AOAC., "international official methode of analysis", Ed Cunniff, V.16, (2000) USA, Association Analytical Chemists, Section 980-29.
84. Devilliers, J., Morlot, M. Pham-Delegue, M.H. Dore, J.C., "Classification of monofloral honeys based on their quality control data", *Food Chem.*, n°56, (2004), 305-31.
85. Piazza, MG. Accorti, M. Persano Oddo, L., "Electrical conductivity, ash, colour and specific rotatory power in italian unifloral honeys", *Apicultura*, n° 7, (1991), 51-63.
86. Serrano, S. Espejo, R., villarejo, M. jordral, M.L., "Diastase and invertase activities in andalusian honeys", *int.j.food sci.technol.*, n° 42, (2007), 76-79.
87. Gustin, J., "Le pollen", *L'abeille de France et de l'apiculture*, n°694, (1984), 210-219.
88. Reille, M., "Leçons de palynologie et d'analyse pollinique", Ed CNRS, Paris (1990), 199p.
89. Renault, J. Miaskovsky, J. R. et Petzold, M., "Pollen et spores", Ed dauraulie, (1992), 92-194
90. Paons, A., "Le Pollen", collection que sais-je ?, le point de connaissances actuelles n° 783. Ed presse universitaire de France, Paris, (1990), 128p.

91. Ricciardelli d'Albore, G., "text book of mellissopalynology", Apimondia, Bucharest, Romania.
92. Pope., "A procedure to identify a honey type ", Food chemistry, n°79, (2002) 401-406.
93. Horn, H. and Lüllmann, C., "Das grosse Honigbuch, Ehrenwirth", München, (1992), 52p.
94. Andrada, A.C. Tellería, M.C., "Pollen collected by honey bees (*Apis mellifera* L.) from south of Caldén district (Argentina): botanical origin and protein content", Grana, n°44 (2005), 1–8.
95. Reille, M., "Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord". Ed du laboratoire botanique historique et palynologie. Marseille. (1992), 543p.
96. Low, N., Schweger, C., Sporns, P., "Precautions in the use of mellissopalynology", J. Apic. Res. n°28, (1989), 50–54.
97. Louveaux, J. et Abed, L., "Les miels d'Afrique du Nord et leur spectre pollinique", Apidologie, n° 203, (1984), 146-168.
98. A.N.A.T, 2002. Prospective territoriale pour le développement durable et intégré de la wilaya de Djelfa. Ed ; Agence National de l'Aménagement territoire.2002.
99. Le Houerou, H.N., "Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique, Diversité biologique, développement durable et désertisation", Options méditerranéennes. CIHEAM. Montpellier Série B, Etudes et recherches n° 10, (2002), 397p.
100. Pouget M. 1980 "Les relations Sol-Végétation dans les steppes sud-Algéroises", travaux et documents de l' OROSTOM. Paris, 555p.
101. Dajoz, R., "Précis d'écologie", Ed. Duodi, Paris, (2000), 1-615.
102. Kadik, L., Bennefissa, D., Chambi, M. et Habel, N., "Notice des cartes d'occupation des terres de l'étage bioclimatique semi-aride algérien au 1/200.000, CRSTRA, Biskra. Algérie, (2002), 11-15.
103. Erdtman, G., "Pollen and spores preparations: the acetolysis method", In: Handbook of palynology, Scandinavian University Books, (1969), 213-216.
104. Lieux M. H., 1980. Acetolysis applied to microscopical honey analysis", Grana, n°19 (1980), 57p.
105. Feller-Demasly, M.J. et Patent, J., "Analyse pollinique des miels de l'Ontario", Canada. Apidologie, n°20, (1989) ,127-138.

106. Von der Ohe, W. et al., "Harmonized methods of melissopalynology", *Apidologie*, n°35(Suppl. 1), (2004),18-25.
107. Bogdanov S., "Harmonised methods of the International Honey Commission", *Bee Product Science*,(2009), <http://www.ihc-platform.net/ihcmethods2009pdf>, (29/05/2015).
108. Aubert, S. et Gonnet, M., "Mesure de la couleur des miels", *Apidologie*, V.14 n° 2, (1983),105-118.
109. Bruneau, E. Barbier, E. Gallez, L.M. Guyot-Decklerck, C., " La roue des arômes des miels" *Abeille&Cie*, n°77, (2000), 16-23.
110. Core team, R., "A language and environment for statistical computing", Vienna: R Foundation for Statistical Computing, (2013), <http://www.R-project.org/>, (29/05/2015).
111. Husson, F., Josse, J., Le S. et Mazet, J., "FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package", version 1.26, (2014),<http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>, (29/05/2015).
112. Battesti, M-J., "Contribution à la méliissopalynologie méditerranéenne : les miels corses", Thèse de doctorat, Université d'Aix, Marseille (France),(1990),159p.
113. Ouchemoukh, S., Louaileche, H. et Schweizer, P., "Physicochemical characteristics and pollen spectrum of some Algerian honeys", *Food Control*, n°18, (2007), 52-58.
114. Benaziza-Bouchema D. & Schweitzer P., " Caractérisation des principaux miels des régions du Nord de l'Algérie", *Cah. Agric.*, V.19, n°6,(2010), 1-7.
115. Makhloufi, C., Kerkvliet, J D., Giancarlo Ricciardelli D'albore, Choukri, A., Samar, R.,"Characterization of Algerian honey by palynological and physico-chemical methods", *Apidologie*, n°41, (2010),509-521.
116. Nair, S. Meddah, B. et Aoues, A., "Melissopalynological characterization of north Algerian honeys", *Foods*, n°2, (2013),83-89.
117. Terrab, A., Díez, M.J. et Heredia F.J., "Palynological, physico-chemical and colour characterization of Moroccan honeys", *Int. J. Food Sci. Technol.*, n°38, (2003), 395-402.
118. Cheffrou, A., Battesti, MJ., Ait Kaci, Y., Bennadja, S., Tahar, A., "Melissopalynologic and physicochemical analysis of some north-east Algerian honeys", *Eur. J. Sci. Res.*, n°18, (2007), 389-401.

119. Bogdanov, S, Lullmann, C., Martin, P., "Qualité du miel et norme international relative au miel", Rapport de la commission international du miel. Abeille & Cie, n° 71, (2001), 1-4.
120. Bruneau, E., "Humidité du miel, attention", Abeille Cie., n°122, (2008), 28-29.
121. Jilani, B.H. et al., "Physicochemical properties and pollen spectra of honeys produced in Tunisia (Southwest of Kef)", *Apiacta*, n°43, (2008), 38-48.
122. Gonnet, M., "L'Hydroxyméthylfurfural dans les miels", Abeille de France., n°753, (1990), 401-404.
123. Persano, L. Baldi, E. et Accorti, M., "Diastatic activity in some unifloral honeys", *Apidologie*, n°21, (1990), 17-24.
124. White, J.W., "The role of HMF and diastase assays in honey quality evaluation", *bee world*, V. 75, n°3, (1994), 104-117.
125. Persano Oddo, L. Piazza, M.G. et Pulcini, P., "Invertase activity in honey", *Apidologie*, n°30, (1999), 57-65.
126. Low, N.H. Nelson, D.L. Sporns, P., "Carbohydrate analysis of western canadian honeys and their nectar sources to determine the origin of honey oligosaccharides", *J. Apic. Res.* n° 27, (1988), 245-251.