



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques

Départements des Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme en Sciences Alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité

Thème

Pollen d'abeille: propriétés biochimiques, production, conservation, qualité.

Réalisé par :

- *M^{lle} SADOUN Soumia.*
- *M^{lle} SAFSAF Sana.*

Membres de jury :

- *Président : M^r AMROUCHE T. Professeur (U.M.M.T.O).*
- *Examineur : M^r SI TAYEB H. Maître de conférences (U.M.M.T.O).*
- *Encadreur : M^r BENGANA M. Maître de conférences B (U.M.M.T.O).*

2020 - 2021



Remerciement

*Nos remerciements s'adressent premièrement et avant tout au « **Bon Dieu** » tout puissant, qui nous a donné la santé ; le courage et beaucoup de patience pour réaliser ce travail.*

*Sans **Allah** en premier et les prières de nos parents, nous n'avons pas pu arriver là où nous sommes aujourd'hui.*

*Nous tenons à remercier vivement notre enseignant et promoteur **Dr BENGANA Mohamed** pour tous ses conseils ; son encouragement ; sa patience et sa sympathie. Sans son suivi rigueur ce travail n'aurait pas pu avoir le jour.*

On le remercie pour sa disponibilité tout au long de la préparation de notre mémoire et surtout pour la qualité de son encadrement exceptionnel.

Nous tenons à remercier également toutes personnes qui a contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

MAYA & SANA

Dédicace

Je dédie ce travail

A la femme la plus douce du monde, qui m'a donné la vie, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse dès le premier jour de mon existence et pour me donner une meilleure éducation, qui a réussie depuis toujours à être la maman et le papa. Ma chère adorable mère « Fazia », qui a attendu avec impatience le jour où j'aurais mon diplôme.

« Je tiens à honorer la femme combattante que tu es. Puisse Allah lui t'accorde une bonne santé et te garde pour nous. »

A la mémoire de mon père « Moussa », que dieu lui fasse miséricorde, qui nous a quitter tôt nous laissant avec ses bénédictions et ses prières avec lesquelles j'ai pu réussir dans ma vie.

« Que dieu fasse du paradis ton demeure et te garde notre ange gardien. »

A mon cher frère « Ali » qui a tant travaillé et travaillé et qui a sacrifié toute sa vie pour nous faire vivre au mieux,

« Qu'Allah te protège et te donne ce que tu mérites, je suis et je resterai toujours à tes côtés. »

A mes grand parents « Ali » ; « Fatma » ; « Zineb » qu'Allah vous protège, et à toutes mes tantes et mes oncles ; mes cousins et cousines ainsi qu'à toutes la famille SAFSAF et LOUERGUIOUI, et tous mes amis sans exception.

A mon cher ami « Alilou », qui m'a aidé et encouragé, et qui a été à mes côtés dans mes moments les plus difficiles, ainsi toute sa famille.

« T'es tellement une personne merveilleuse et exceptionnelle que j'ai reconnais, merci pour ta présence dans ma vie, qu'Allah t'offre le bonheur et la santé et te protège pour moi et ta famille. »

A ma chère sœur ; amie ; binôme « Maya » avec qui j'ai partagé les moments de joie ; de stress ; de sacrifices et de réussite. Merci pour ton soutien moral, ta patience et ta compréhension tout au long de cette belle expérience.

Sana

Dédicace

Je didie ce travail

A l'homme de ma vie ; mon bras droit ; l'exemple du père respectueux et honnête et le meilleur père au monde, mon cher papa « Mansour », qui s'est battu pour notre bonheur et qui a sacrifié toute sa vie pour nous donner une meilleure éducation et faire de nous les femmes fortes que nous sommes aujourd'hui grâce a toi papa j'ai appris le sens de la responsabilité Je tiens à honorer l'homme que tu es.

« Je voulais te dire merci papa, merci pour le père que tu a été quand j'étais petite et merci d'être le père que tu es pour moi aujourd'hui. »

A la femme la plus douce du monde, qui m'a donné la vie, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse dès le premier jour de mon existence. A ma chère mère « Fatima » qui a consacré toute sa vie pour m'agrandir. Tous les mots du monde ne me suffisent pas pour te remercier pour tous les valeurs que tu a met en moi et pour tous tes sacrifices.

« Merci de m'avoir aimé maman comme tu l'as fait et comme tu continues de le faire, merci d'être toujours à mes cotés. »

A ma grande sœur et ma deuxième maman « Naima » et son mari « Houcine » et ses enfants « Mohammed Achraf et Naila ».

A ma sœur « Akila » et son mari « Youva » et son fils « Aghiles ».

A ma sœur, ma jumelle et ma meilleure amie « Sarah » et ma petite sœur, princesse « Malek ».

« Merci d'être toujours à mes cotés et de me soutenir depuis toujours, vous êtes les meilleures sœurs au monde, vous êtes ma force je vous aime très fort. »

A mon cher ami « Moh », qui m'a toujours aidé et encouragé, et qui était à mes cotés dans mes moments les plus difficiles. Ainsi à toute sa famille...

« Merci de m'être toujours une lueur d'espoir qui me pousse en avant, et surtout Merci pour ta présence dans ma vie. »

A ma chère sœur ; amie ; binôme « Sana » avec qui j'ai partagé les moments de joie ; de stress ; de sacrifices et de réussite. Merci pour ton soutien moral, ta patience et ta compréhension tout au long de cette belle expérience.

Maya

Résumé

Résumé

Le pollen d'abeilles est considéré comme un complément alimentaire diététique qui a connu une large gamme d'utilisation avec ses propriétés thérapeutiques. Ce modeste travail présente les différents composants du pollen (protéines, lipides, eau, glucides, vitamines...) et leurs effets bénéfiques sur la santé tels que l'action anti-inflammatoire et anti-oxydante... ainsi que la technique et les conditions de sa récolte. Il a présenté également les divers facteurs qui altèrent la qualité nutritionnelle et microbiologique du pollen d'abeille (l'humidité, microorganismes, pesticides...) et les différents critères qui définissent cette qualité. Ainsi que les différentes étapes de nettoyage (traditionnel ou industriel), qui permettent d'éliminer les impuretés (les insectes ravageurs, la poussière, les feuilles, pelotes de pollen endommagés...). Nous avons abordé également les méthodes de conservation du pollen telles que la congélation, le conditionnement sous vide et sous atmosphère modifiée, les extraits du pollen et le séchage traditionnel et industriel. Notamment, nous avons proposé quelques techniques de séchage (séchage à chariots à claies, lyophilisation, détente instantanée contrôlée...) qui peuvent être utilisées pour le pollen, ainsi que leurs avantages et inconvénients. Pour finaliser ce procédé, nous avons cité les conditions dans lesquelles s'effectuent le conditionnement et le stockage de pollen d'abeille et on a proposé un guide de bonnes pratiques apicoles qui peut aider les producteurs de pollen à améliorer leur production en termes de qualité et de quantité. A la fin de ce mémoire nous avons parlé brièvement sur la consommation et la commercialisation mondiale du pollen d'abeille, et également la situation du domaine apicole en Algérie et les facteurs qui limitent la production locale du pollen d'abeille.

Mots clés : pollen d'abeille, qualité, nettoyage, techniques de conservation, altération, bonnes pratiques apicoles.

Abstract

Abstract

Bee pollen is considered as dietary supplement that has been widely used for its therapeutic properties. This work presents the different components of pollen (proteins, lipids, water, carbohydrates, vitamins...) and their beneficial effects on health such as anti-inflammatory and antioxidant action... as well as the technique and conditions of its harvest. It also presented the different factors that alter the nutritional and microbiological quality of bee pollen (humidity, micro-organisms, pesticides...) and the different criteria that define this quality. As well as the different cleaning steps (traditional or industrial), which allow the elimination of impurities (harmful insects, dust, leaves, damaged pollen balls...). We have also discussed pollen conservation methods such as freezing, vacuum and modified atmosphere packaging, pollen extracts and traditional and industrial drying. In particular, some drying techniques (drying in racks, freeze-drying, controlled instantaneous expansion...) that can be used for pollen have been proposed, as well as their advantages and disadvantages. To finalize this process, the conditions under which the conditioning and storage of bee pollen are carried out were mentioned and a guide of good beekeeping practices was proposed which can help pollen producers to improve their production in terms of quality and quantity. At the end of this thesis, we briefly discussed the consumption and marketing of bee pollen worldwide, and also the situation of beekeeping in Algeria and the factors that limit the local production of bee pollen.

Key words: bee pollen, quality, cleaning, conservation techniques, spoilage good beekeeping practices.

الملخص

تعتبر حبوب الطلع مكمل غذائي معروف بمجموعة واسعة من الاستخدامات بفضل خصائصه العلاجية. يعرض هذا العمل المتواضع المكونات المختلفة لحبوب الطلع (بروتينات، دهون ، ماء، كربوهيدرات، فيتامينات...) و تأثيراتها المفيدة على الصحة مثل المفعول المضاد للالتهابات و مضاد الأكسدة... و كذلك تقنيات و شروط حصاده. كما يعرض العوامل المختلفة التي تؤثر على الجودة الغذائية و الميكروبيولوجية لحبوب الطلع(الرطوبة، الكائنات الحية الدقيقة، المبيدات الحشرية...) و المعايير المختلفة التي تحدد هذه الجودة. و كذلك خطوات التنظيف المختلفة (التقليدية و الصناعية) التي تزيل الشوائب (الآفات الحشرية، الغبار الأوراق التالفة، كرات حبوب الطلع الفاسدة...) كما تمت مناقشة طرق حفظ حبوب الطلع مثل التجميد و الفراغ و التعبئة في الغلاف الجوي المعدل و مستخلصات حبوب الطلع و التجفيف التقليدي و الصناعي. على وجه الخصوص، تم اقتراح بعض تقنيات التجفيف(التجفيف في عربات الرف، التجفيف بالتجميد، التمدد اللحظي المتحكم فيه...) و التي يمكن استخدامها لحبوب الطلع، بالإضافة إلى مزاياها و عيوبها لإنهاء هذه العملية، ذكرنا الظروف التي يتم فيها تعبئة حبوب الطلع و تخزينها و اقترحنا دليلا يمكنه مساعدة منتجي حبوب الطلع في تحسين إنتاجهم من حيث الكمية و النوعية في نهاية هذه المذكرة، تحدثنا بإيجاز عن الاستهلاك و التسويق العالمي لحبوب الطلع، وكذلك عن تربية النحل في الجزائر و العوامل التي تحد من الإنتاج المحلي لحبوب الطلع.

الكلمات المفتاحية : حبوب الطلع، الجودة، التنظيف، تقنيات الحفظ التالف، ممارسات الجودة لتربية النحل.

Sommaire

Résumés

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction..... 1

Chapitre I : Structure et rôle

I. Définition 3

II. Structure..... 3

1. Structure de la fleur 3

2. La morphologie du grain de pollen 4

3. Cycle reproducteur d'une plante à fleur 4

III. Rôle de l'abeille dans la pollinisation..... 5

1. Anatomie de l'abeille 5

2. Mécanisme de la pollinisation 5

3. Pollen en pelote 6

3.1. L'importance du pollen pour l'abeille 6

Chapitre II : Composition biochimiques et propriétés thérapeutiques du pollen

I. Composition biochimique du pollen d'abeille.... 7

1. L'eau 7

2. La composition en protéines et acides aminés..... 7

3. Les glucides 9

4. Les lipides..... 10

5. Les micro-nutriments..... 10

5.1. Les vitamines liposolubles..... 10

5.2. Les vitamines hydrosolubles..... 11

5.3. Les minéraux 12

II. Les propriétés thérapeutiques et effets bénéfiques du pollen sur la santé..... 13

1. Propriété nutritionnelle..... 13

2. Action anti-oxydante 14

3. Propriété digestive 15

4. Action détoxifiante 15

5. Activité antibactérienne.....	15
6. Action cardiovasculaire.....	15
7. Action antibiotique et antifongique.....	16
8. Propriété anti-cancéreuse	16
9. Action anti-inflammatoire	16
10. Action immuno-modulatrice	16
11. Action fortifiante et vivifiante.....	16
12. Action hypo-lipidique	17
13. Action régulatrice des voies respiratoires	17
14. Action stimulatrice de la concentration et de la mémoire	17
15. Traitement de la prostate	17
16. Autres utilisation	17
17. Mode d'utilisation de pollen d'abeille.....	18
17.1. Critères qualitatif du pollen d'abeille.....	19
17.2. Mesures de consommation du pollen d'abeille.....	19

Chapitre III : Récolte, production et altération du pollen

I. Conduite et gestion des ruchers	20
1. Emplacement favorable des ruches	20
2. Identification et déclaration des ruches	21
3. Choix et entretien de matériel	21
4. Nettoyage et désinfection des ruches et de matériel utilisé au rucher.....	22
5. Santé des colonies	23
5.1. Surveillance des colonies.....	23
5.2. Facteurs environnementaux	24
5.3. Les maladies qui attaquent les colonies d'abeille.....	24
II. Récolte du pollen	29
1. Mécanisme de la récolte du pollen par l'abeille	29
1.1. Communication des abeilles	31
1.2. Transformation des pelotes de pollen en pain d'abeille	32
1.3. Facteurs influençant la récolte du pollen par les abeilles	32
2. Production de pollen par l'apiculteur	33
2.1. Trappe à pollen	33
2.1.1. Définition.....	33
2.1.2. Description d'une trappe à pollen.....	33

2.1.3. Types des trappes à pollen.....	33
2.1.4. Fonctionnement d'une trappe à pollen	35
3. choix des colonies.....	36
III. Altération du pollen récolté par l'abeille	37
1. Humidité et l'activité de l'eau (AW).....	37
2. Fausses teignes	38
3. Microorganismes	39
4. Pesticides.....	40
5. Métaux lourds.....	41
Chapitre IV : Nettoyage, conservation et commercialisation de pollen d'abeille	
I. Nettoyage de pollen récolté.....	43
1. Nettoyage traditionnel	43
2. Nettoyage industriel (moderne).....	44
II. Techniques de conservations du pollen d'abeille	47
1. Conservation par la chaleur (le séchage).....	47
1.1. Séchage au soleil.....	47
1.2. Séchage solaire	48
1.3. Séchage industriel.....	49
1.3.1. Séchage dans les étuves.....	49
1.3.2. Technique de séchage à chariots à claies.....	50
1.3.3. Technique de séchage à tambour rotatif.....	51
1.3.4. Technique de séchage à convection tunnel	53
1.3.5. Lyophilisation.....	54
1.3.6. Séchage par la détente instantanée contrôlée (DIC).....	55
1.4. Avantages et inconvénients de séchage.....	58
1.4.1. Avantages du séchage.....	58
1.4.2. Inconvénients du séchage	58
1.5. Paramètres influençant la cinétique de séchages	59
1.6. Effet de séchage sur la qualité du pollen d'abeille	60
2. Conservation par le froid (la congélation).....	61
3. Conservation de pollen par le conditionnement sous vide.....	62
3.1. Précautions sanitaires lors d'un conditionnement sous vide	62
4. Conservation par le conditionnement sous atmosphère modifié.....	63
4.1. Choix de l'atmosphère.....	64

4.2. Durées de conservation.....	64
5. Extraits de pollen.....	66
III. Conditionnement, étiquetage et stockage du pollen d'abeille	66
1. Mise en pots (conditionnement).....	66
2. Etiquetage.....	67
3. Stockage	68
IV. La qualité du pollen récolté par les abeilles.....	69
1. Critères de qualité du pollen.....	69
1.2. Critères sensoriels.....	69
1.3. Critère microbiologique et hygiénique	72
1.4. Critères nutritionnels	72
V. Guide des bonnes pratiques apicoles	73
1. Définition.....	73
2. Bonnes pratiques de production	73
VI. Commercialisation et consommation du pollen d'abeille.....	76
1. Commercialisation mondiale du pollen d'abeille.....	76
2. Situation de l'apiculture en Algérie.....	78
2.1. Facteurs de variation de la production de pollen	78
2.1.1. Facteurs climatiques	78
2.1.2. Facteurs humains	78
2.1.3. Facteurs génétiques	78
2.1.4. Facteurs alimentaires et sanitaires	79
Conclusion.....	80
Références	

Liste des abréviations

Liste des abréviations

AA : acide aminé

AG : acide gras

AGI : acide gras insaturé

AGPI : acide gras polyinsaturé

AGS : acide gras saturé

ATEX : atmosphere explosive

CBPV : chronic bee paralysis virus

CLHP: chromatographie en phase liquide à haute performance

CPG : chromatographie en phase gazeuse

DLC : date limite de consommation

DLUO : date limite utilisation optimale

ER : équivalent rétinol

FDA : food and drug administration

GBP : guide des bonnes pratiques

GBPA : guide des bonnes pratiques apicoles

GDP : grain de pollen

GPL : gaz de pétrol liquifié

HDPE :polyéthylène haute densité

HTST : high temperature short time

INMMV :insitut national de la médecine vétérinaire

MO : micro- onde

NAPI : numéro d'apiculture

NFPA : national fire protectionassociation

Liste des abréviations

ORAC : oxygen radical absorbance capacity

PNDA : plan national de développement agricole

SBV : sacbrood bee virus

STEU : station de traitement des eaux usée.

.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre	page
I	Les minéraux présents dans le pollen et leurs apports journaliers.	13
II	Bilan de l'air humide et de l'aliment au cours d'un séchage à convection tunnel.	53
III	Analyses comparatives en termes de performance des procédés de séchage et de qualité du produit fini.	57
IV	Table de jugement de la qualité sensorielle d'un pollen frais.	71
V	Normes des germes pathogènes dans le pollen.	72
VI	La composition nutritionnelle du pollen récolté par le abeille.	73
VII	Les bonnes pratiques de production du pollen d'abeilles	75

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	La structure d'une fleur.	3
2	Structure et organisation du grain de pollen.	4
3	Cycle reproducteur d'une plante à fleur.	4
4	Anatomie de l'abeille.	5
5	Cycle de pollinisation floral par l'abeille.	6
6	Composition moyenne du pollen d'abeille.	7
7	Test de la capacité d'absorption des radicaux oxygénés.	14
8	Processus de collecte du pollen par les abeilles.	31
9	Schéma de l'orientation de la danse en huit par l'éclaireuse fonction du soleil et de la source de nourriture.	31
10	Pain d'abeille.	32
11	Trappe à pollen d'entrée.	34
12	Trappe à pollen plancher.	34
13	Mécanisme de fonctionnement d'une trappe à pollen d'entrée.	36
14	Mécanisme de fonctionnement d'une trappe à pollen plancher.	36
15	Schéma représentant les étapes de nettoyage et conditionnement des pollens d'abeilles.	42
16	Les étapes de nettoyage traditionnel du pollen d'abeille récolté.	44
17	Schéma du fonctionnement d'un tarare à pollen.	45
18	Trieur à pollen en bois.	46
19	Trieur à pollen pro suprême.	46
20	Une pilote de séchage solaire.	49
21	Séchoir à pollen.	50
22	Principe de fonctionnement d'un système de séchage à chariots à claies.	51
23	Chamber à séchage à chariots à claies.	51
24	Principe de fonctionnement d'un système de séchage à tambour rotatif.	52
25	Sécheur à tambour rotatif.	52
26	Principe de fonctionnement d'un système de séchage à convection tunnel.	54
27	Sécheur à convection tunnel.	54

Liste des figures

28	Représentation schématique du réacteur DIC.	55
29	Evolution de la température et de la pression lors d'un traitement DIC.	56
30	Comparaison de la qualité et du coût des technologies de séchage.	58
31	Connaissance et consommation des produits de la ruche.	77
32	Connaissance des produits de la ruche homme et femme.	77
33	Connaissance et consommation des produits de la ruche par âge.	77

Introduction

Introduction

Introduction

« Si l'abeille venait à disparaître, l'homme n'aurait plus que quelques années à vivre », **Albert Einstein**... Les abeilles font partie depuis des millénaires de la culture et du patrimoine humain, elles sont donc essentielles au maintien d'une biodiversité végétale très importante pour l'humanité ; car sans elles, il n'y a pas de grains ; pas de fruits et pas de reproduction possible pour une grande majorité des plantes. Elles rendent un service écologique précieux et indispensable (**David Paterson, 2008**).

Lors de leur butinage, les abeilles de l'espèce *Apis mellifera* collectent le nectar et le pollen des étamines des fleurs, qu'elles transforment ensuite en pelotes de pollen. Ce pollen est considéré comme la matière première avec laquelle les abeilles fabriquent le miel, c'est ce produit qui a rendu l'abeille intéressante pour l'homme. Cette substance se présente comme une denrée alimentaire très appréciées, grâce à ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques (**Percie du sert, 2003**).

En plus de l'étude des miels, plusieurs travaux ont été menés sur les autres produits de la ruche, en particulier le pollen où ils ont démontré qu'il est non seulement une source importante de protéines, mais il contient également des glucides ; des lipides ; des minéraux ; des vitamines ; des cendres ; de l'eau et d'autres substances (**Tomas-Lorente et al, 1992**). Le pollen contient en outre, des pigments lipidiques provenant des anthères des fleurs. L'origine florale et la composition de ces pigments nous permet par conséquent de distinguer plusieurs couleurs des pelotes de pollen, qui varient de blanc et crème au brun foncé, et les plus représentées sont le jaune ; l'orange ; le rouge ; le vert et le gris. Grâce à ses propriétés nutritionnelles et physiologiques importantes et surtout à l'égard de ses vertus thérapeutiques sur l'homme (contre l'anémie, le stress, la prostate...), le pollen a été utilisé depuis longtemps dans la médecine traditionnelle bien évidemment dans les produits diététiques et la nutrition complémentaire (**Stanley et Linskens, 1974**).

Sur le plan thérapeutique, le pollen d'abeille, grâce à sa richesse en constituants nutritionnels et en éléments bioactifs et également à ces effets bénéfiques sur la santé, il constitue aujourd'hui l'un des principaux produits de la ruche qui suscite l'intérêt de beaucoup de personnes dans le monde et sa consommation ne cesse d'augmenter.

Pour avoir un pollen de qualité, l'apiculteur doit suivre un guide des bonnes pratiques lors de l'entretien de ses ruches car le mauvais choix des colonies sur lesquelles il va installer ses trappes à pollen peut influencer sa qualité, qui est définie selon un ensemble des critères.

Introduction

Comme tous les aliments riches en nutriments et en eau, le pollen frais est facilement détérioré en raison de plusieurs facteurs tels que l'humidité en premier ; les microorganismes (bactéries, levures et moisissures) ; les pesticides et les métaux lourds ainsi que les mauvaises conditions d'entretien ce qui altère partiellement ou totalement la qualité du pollen d'abeille.

L'altération du pollen est le problème majeur de tous les apiculteurs, donc ils doivent le nettoyer et appliquer une des techniques de conservation (congélation ou séchage), juste après sa récolte afin de ralentir ou d'arrêter la détérioration du pollen en préservant le maximum de sa qualité initiale.

Grace à ses bienfaits, le pollen est considéré dans quelques pays comme un aliment naturel (les Etat-Unies) et dans d'autre comme un médicament (la Chine et l'Allemand), d'ailleurs sa production et sa commercialisation mondiale est en augmentation significative (**Malfait et Bruneau, 2016**). En Algérie, avec l'essor qu'a connu l'apiculture depuis l'avènement du PNDA (Plan de Développement Agricole), de nombreux apiculteurs s'intéressent au pollen d'abeille, comme second produit après le miel, afin de mieux rentabiliser économiquement leur exploitation. Malgré ses capacités mellifères très abondantes et variées, et son climat favorable, l'Algérie figure dans la liste des pays importateurs des produits apicoles en général et le pollen en particulier (**Adjlane et Haddad, 2012**).

Notre recherche bibliographique a pour but de montrer, en premier lieu, la valeur nutritionnelle et les propriétés biologiques du pollen d'abeille. Ensuite, et vu sa richesse en nutriments et sa susceptibilité à l'altération, nous avons passé en revue les facteurs d'altération et les techniques de production et de conservation du pollen d'abeille. Pour terminer, nous avons rassemblé quelques techniques et pratiques utiles qui pourront faire l'objet d'un guide des bonnes pratiques apicoles pour la production du pollen.

Chapitre I

Structure et rôle

I. Définition et origine du pollen

Le mot "pollen" vient du grec "pâle" qui désigne la farine ainsi que la poussière pollinique. Le mot "palynologie", issu de la même racine, signifie l'étude scientifique des pollens (Kiared, 2015).

Le pollen est un petit élément sphérique ou ovoïde dont sa couleur varie selon la plante d'origine (blanchâtre, jaune, verte, rouge ou marron) (Blanc, 2010), sa taille varie de $2.5\mu\text{m}$ à $250\mu\text{m}$ selon son âge et les conditions de végétations (Kiared, 2015). Le grain de pollen provient des étamines des plantes à fleurs, il est l'élément reproducteur mâle des végétaux supérieurs. Lorsqu'il est libéré, le grain de pollen qui comporte deux noyaux se dépose sur le pistil de la fleur afin de la féconder, l'un de ces deux derniers donnera un fruit et l'autre donnera naissance à une nouvelle plante (Demers, 2013).

Selon son mode de transport, le pollen se distingue en deux catégories : les pollens transportés par le vent dits anémophiles, ce sont eux qui sont responsables des allergies saisonnières (rhume des foins) et les pollens entomophiles transportés par les insectes et en grande partie par les abeilles, ces derniers ne sont pas allergisants (Demers, 2013).

II. Structure

1. Structure de la fleur

La plupart des fleurs sont *Hermaphrodites*, c'est-à-dire qu'elles ont à la fois des organes reproducteurs mâles et femelles : elles ont un pistil qui est la partie femelle (contient des ovules) et des étamines qui sont la partie mâle (libère le pollen). Certaines plantes ont des fleurs qui ne sont pas des *Hermaphrodites* : elles sont soit mâles soit femelles, les scientifiques parlent alors des fleurs *Gonochoriques*. D'autres ont des fleurs qui sont successivement mâles et femelles, on parle alors d'hermaphroditisme successif (Dumas, 2021).

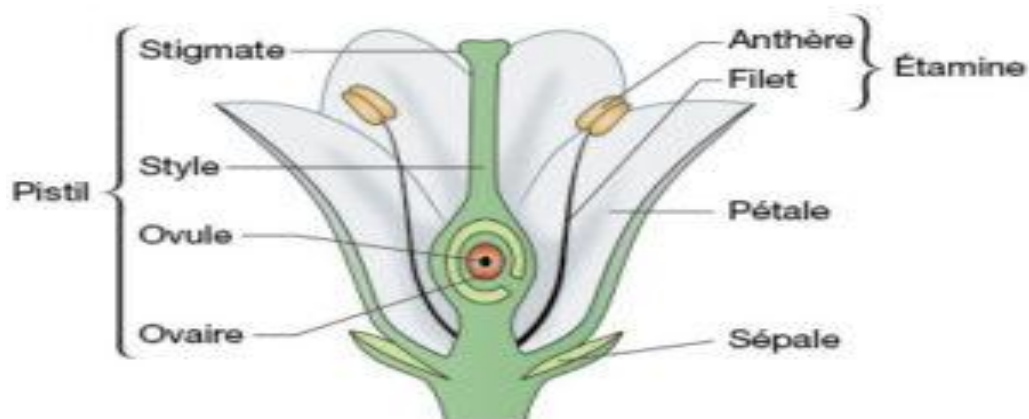


Figure 01 : La structure d'une fleur (Ismaël, 2018).

2. La morphologie du grain de pollen

Le grain de pollen mature est constitué habituellement de deux ou trois cellules non cloisonnées qui comporte deux noyaux haploïdes, le plus gros est le noyau végétatif et l'autre est le noyau génératif ou reproducteur (**Pacini et Hesse, 2005**). Ainsi, d'une paroi qui peut être considéré comme un mur double face, sa couche externe appelée l'exine formée de la sporopollénine qui est une substance très résistante aux influences exogènes ce qui permet au pollen de survivre durant des siècles. Sa couche interne appelée l'intine composée de cellulose et des composés pectiques délimite le cytoplasme qui contient les organites subcellulaires incluant les noyaux (**Macaluso-Galletta, 2004**).

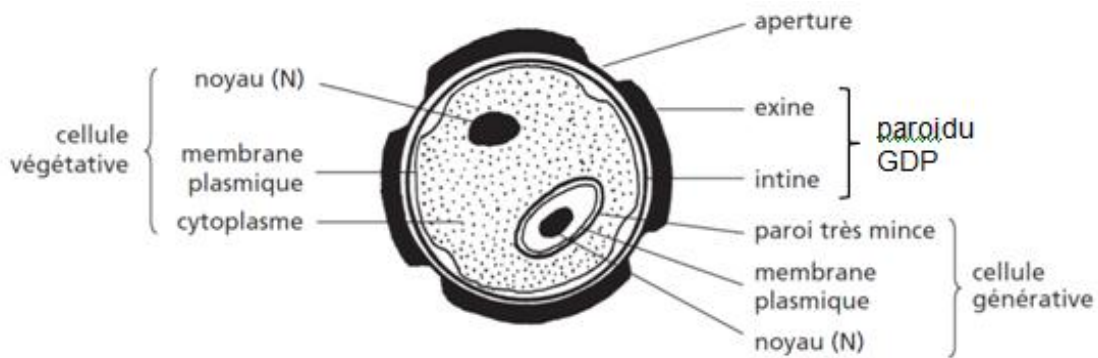


Figure 02 : structure et organisation du grain de pollen (**Tanguy jean, 2016**).

3. Cycle reproducteur d'une plante à fleur

Chez la fleur, les acteurs de la reproduction sexuée sont les gamètes mâles (grains de pollen) et les gamètes femelles (ovules). Tout commence par la maturation des grains de pollen dans l'androcée, au sein de chaque sac pollinique se trouve une cellule sporogène diploïde ($2n$) qui subit méioses et mitoses successives jusqu'à donner une multitude des grains de pollen. A sa totale maturité, l'androcée s'ouvre et libère les grains de pollen. Cette pluie pollinique est responsable de la fécondation des fleurs de la même espèce (**Thibault, 2017**).

Le phénomène de pollinisation est présenté dans le schéma ci-dessous :

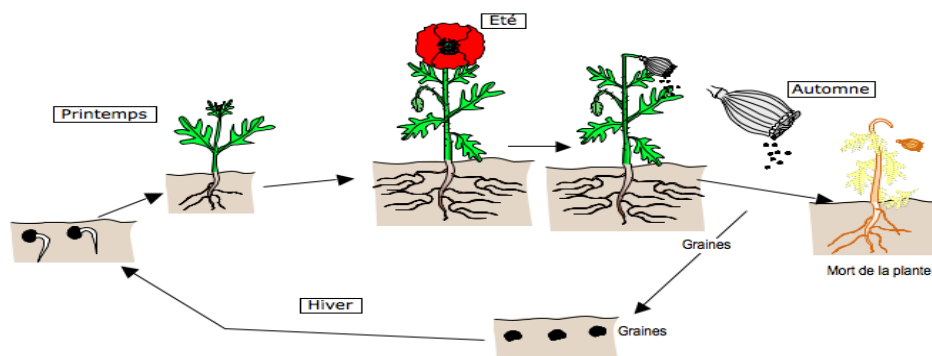


Figure 03 : cycle reproducteur d'une plante à fleur (**Gallien, 2013**).

III. Rôle de l'abeille dans la pollinisation

1. Anatomie de l'abeille

L'abeille fait partie de la grande famille des insectes et plus précisément de l'ordre des *Hyménoptères*. L'espèce la plus connue est *l'Apis Mellifera* c'est-à-dire l'abeille à miel, elle peut vivre à l'état sauvage ou être élevée pour produire du miel.

Les abeilles vivent en communauté au sein de la ruche c'est ce que l'on appelle une colonie. Dans la même colonie il existe trois castes d'abeilles : la reine, l'ouvrière et le mâle. Le corps de l'abeille est divisé en plusieurs segments, on distingue facilement trois parties caractéristiques de la classe des insectes composant le corps de l'abeille : la tête, le thorax et l'abdomen (Adam, 2010).

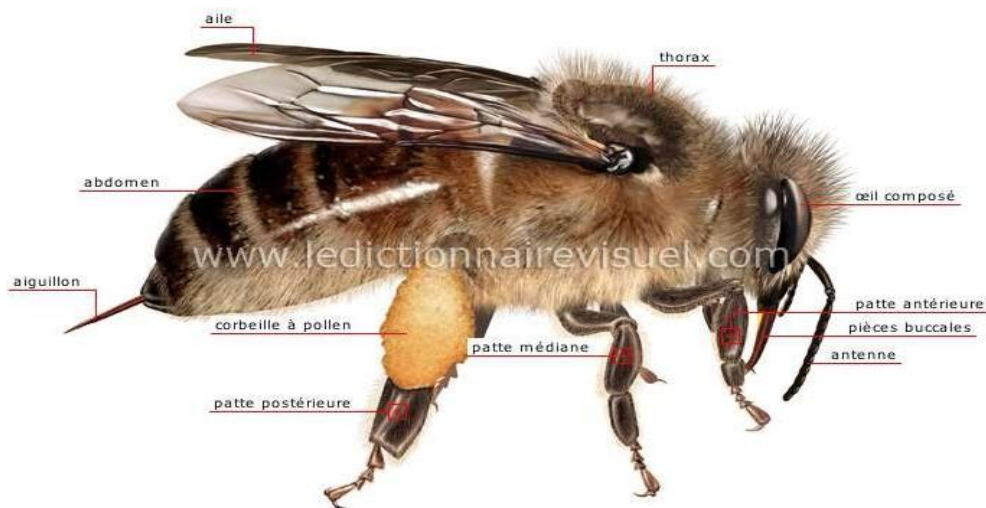


Figure 04 : Anatomie de l'abeille (Le dictionnaire visuel, 2021).

2. Mécanisme de la pollinisation

La reproduction chez les végétaux correspond à la rencontre d'un gamète mâle et d'un gamète femelle mais leurs immobilités ne la permettent pas, des agents extérieurs donc sont indispensables à cette reproduction tels que le vent ; l'eau et les insectes principalement l'abeille.

L'abeille lors de la récolte de son pollen, elle le déplace accidentellement de l'étamine vers le stigmate. Après le dépôt d'un ou plusieurs grains de pollen sur le pistil, chaque grain développe un tube pollinique qui descend à l'intérieur du pistil jusqu'à l'ovaire pour féconder une ovule. Après un certain temps, l'ovule fécondée devient une graine (Ntakirutimana, 2016).

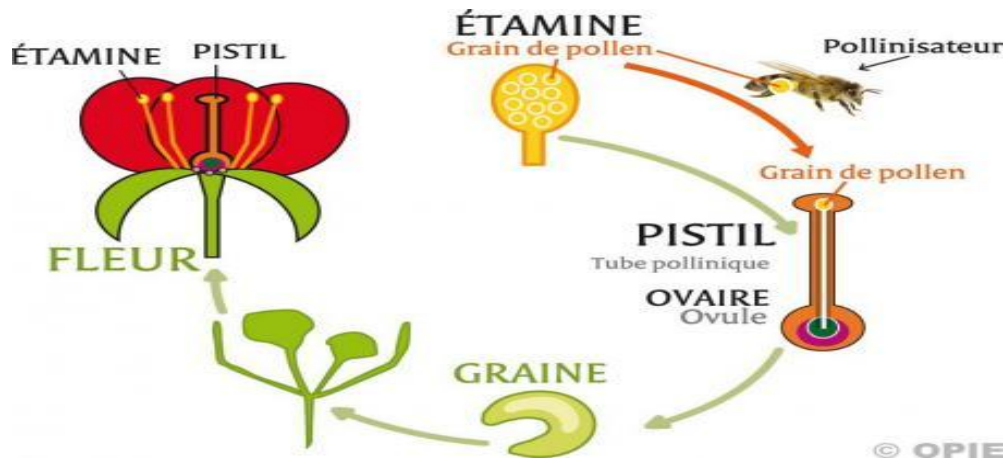


Figure 05 : cycle de pollinisation floral par l'abeille (<https://www.pollinisateurs.com>, 2017).

3. Pollen en pelotes

C'est le pollen récolté par les abeilles et également appelé entomophile, son poids est beaucoup plus lourd que le pollen des fleurs et donc le vent ne suffit pas pour le transporter. Seules les abeilles ou les papillons sont capables de le ramasser, il ne respire pas et ne présente pas de risques d'allergies contrairement au pollen de fleurs. Le pollen d'abeille est de petites pelotes aux couleurs dorées ; noires ; vertes... en fonction des étamines des fleurs butinées. Il possède une complexité aromatique intéressante ainsi que d'exceptionnelles valeurs nutritionnelles, ce caviar d'abeille à la texture granuleuse et fondante et également une palette aromatique particulière, il est à la fois sucré, piquant et légèrement amer (**Thibault, 2017**).

3.1. L'importance du pollen pour l'abeille

Le pollen est l'unique source de protéines (aminoacide à large spectre) ; des lipides et des vitamines nécessaires à la bonne alimentation des abeilles, le taux de protéines varie selon les fleurs de 7% à 37% (**Fert, 2010**).

Les besoins d'une colonie en pollen varient au cours de la saison, ils sont bien plus importants en période d'élevage des couvains. En hiver les abeilles ne consomment pas de pollen, les réserves qu'elles ont dans les corps gras (réserves que font en automne les abeilles de fin de saison) suffisent à couvrir leurs besoins (**Perdix, 2018**).

Le pollen joue un rôle primordial et vital à chaque stade de vie de la colonie, il est nécessaire au renforcement du système immunitaire des larves ; à la nourriture des reines pour une meilleure ponte et une longue durée de vie, il est également nécessaire aux mâles pour leur assurer une meilleure vigueur ; une maturité sexuelle et une production des spermatozoïdes plus rapides (**Perdix, 2018**).

Chapitre II

**Composition biochimique et
propriétés thérapeutiques du pollen**

I. Composition biochimique du pollen d'abeille

Le pollen est un aliment très complet, il renferme tous les nutriments nécessaires à la croissance et au développement de l'organisme : sucres ; protéines ; acides aminés ; lipides ; vitamines ; minéraux ; acides nucléiques ; enzymes et polyphénols. Diverses études de la composition de pollens ont été menées en Espagne, Australie, Portugal, Brésil et Amérique du Sud notamment, elles mettent en évidence une composition du pollen très variable, principalement en fonction des plantes visitées par les abeilles mais également des conditions environnementales (la saison et le lieu), ainsi que de l'âge et de l'état nutritionnel de la plante (Szczesna *et al*, 2002 ; Massaux, 2016).

La composition moyenne des grains de pollen d'abeille est représentée dans la figure suivante :

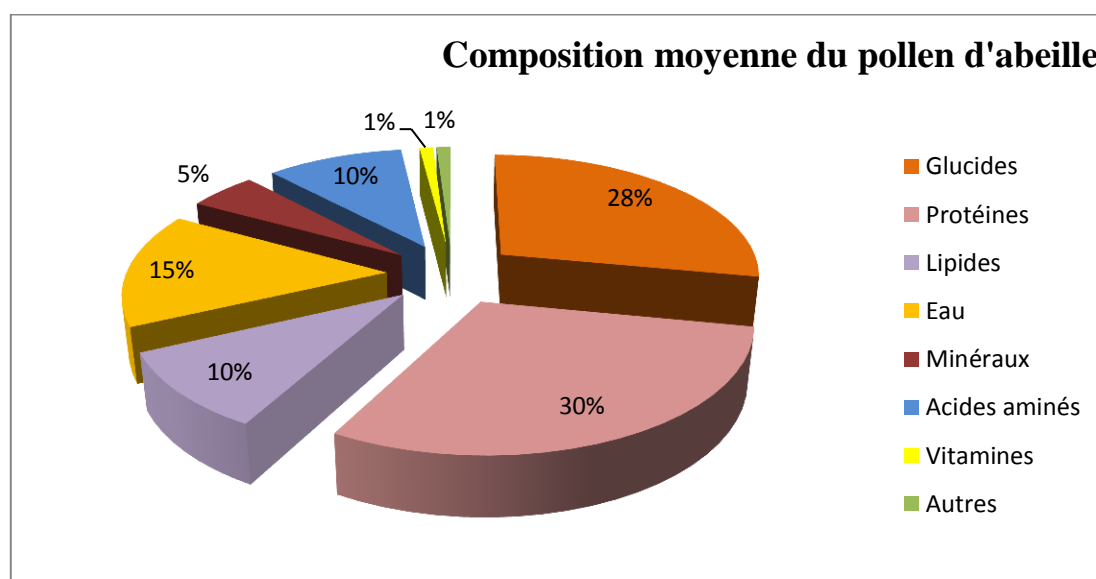


Figure 06 : composition moyenne du pollen d'abeille (De-Melo et Almeida-Muradian, 2017).

1. L'eau

Le pourcentage d'eau dans le pollen varie de 3% à 20% selon plusieurs paramètres tels que la zone géographique et le degré de séchage. Plus les valeurs en eau du pollen sont faibles, plus elles témoignent d'une sécurité sanitaire microbiologique compatible pour un usage en alimentation humaine (Ghosh et Jung, 2020).

2. La composition en protéines et en acides aminés

Le pollen fournit les nutriments requis pour le développement des organes de l'abeille, une colonie consomme jusqu'à 30 kg de pollen par an. Il est l'unique source de protéines

naturellement disponible qui représentent le groupe majeur dans sa composition, ces derniers résultent de la condensation des AA (Acides Aminés) qui sont des constituants essentiels des tissus vivants et jouent un rôle majeur dans les mécanismes vitaux (enzymatiques ; immunitaires ; hormonaux,...).

Le taux de protéines est variable d'une espèce de plante à une autre. On estime à 5% la teneur des plantes les moins riches et 40% celle des plus riches, cette différence explique en partie pourquoi les abeilles se dirigent préférentiellement vers certaines plantes pour la récolte du pollen. Sa teneur dépend des conditions climatiques ce qui explique la différence de la composition du pollen d'une même espèce de deux régions différentes (**DeGrandi-Hoffman et al, 2018**).

➤ **Les acides aminés**

Les AA sont indispensables au développement ; à l'entretien et au renouvellement des tissus biologiques. La plupart des pollens contiennent tous les AA, les plus abondants sont (**Ghosh et Jung, 2020**) :

- **Arginine**

C'est un précurseur du monoxyde d'azote qui varie de 4.4 % à 5.7 %, on lui attribue une action dans l'amélioration de la libido masculine mais également dans la régulation du cholestérol. Cet AA joue un rôle dans de nombreux processus métaboliques et dans le fonctionnement des entérocytes, il trouve par ailleurs, son intérêt notamment dans le traitement des maladies cardiovasculaires et de l'hypertension.

- **Cystine**

La Cystine possède un rôle protecteur de la vitamine C en limitant son oxydation. Elle potentialise l'utilisation de la vitamine et entre dans la composition de la kératine, stimulant ainsi la pousse des cheveux ; des ongles et la réparation tissulaire. Elle représente 0.6 % de la composition totale du pollen.

- **Histidine**

C'est un AA essentiel chez l'enfant mais il devient non essentiel à l'âge adulte. Cet AA varie de 2% à 3.5%, possède un rôle dans la croissance et la réparation tissulaire mais agit également sur le système nerveux et améliore la libido.

- **Isoleucine**

Elle améliore la coordination ; le métabolisme musculaire et la réparation tissulaire. Elle normalise également la glycémie et le taux d'azote musculaire, elle varie de 4.5% à 5.8%.

- **Leucine**

Possède les mêmes propriétés que l'isoleucine, elle varie de 6.7% à 7.5%.

- **Lysine**

Participe à la formation des anticorps et à la régénération tissulaire. C'est un stimulant immunitaire et endocrinien qui aide à lutter contre la fatigue et le manque d'appétit, elle varie de 5.9% à 7%.

- **Méthionine**

C'est un antioxydant puissant qui participe à la synthèse du glutathion ; la lutte contre la dépression et les troubles du comportement, il a un rôle spécifique dans l'initiation de la synthèse protéique, sa teneur varie de 1.7% à 2.4%.

- **Phénylalanine**

Cet AA est considéré comme un antidépresseur naturel, il améliore la mémoire et aide à la désintoxication des drogues et de l'alcool. Il est également le précurseur de l'adrénaline et de la dopamine, varie de 3.7% à 4.4%.

- **Proline**

La proline participe activement à la synthèse du collagène et joue un rôle important dans la réparation tissulaire et la protection des tissus cardiaques, varie 9% à 11.8%.

- **Thréonine**

Participe à la formation des cartilages et des ligaments ainsi qu'au bon fonctionnement du système nerveux central, varie de 2.3% à 4%.

- **Tryptophane**

Transformé en sérotonine, il agit comme antidépresseur et anxiolytique. Il aide au combat contre les dépendances à l'alcool et aux drogues, varie de 1.2% à 1.6%.

- **Valine**

C'est un stimulant, permettant d'améliorer la résistance à l'effort et normalise la glycémie, elle varie de 5.5% à 6%.

3. Les glucides

Le groupe des carbohydrates qui inclut les sucres ; l'amidon et les fibres alimentaires constituent le composant majeur du pollen. Le fructose ; le glucose et le saccharose composent 90 % des sucres présents dans ce dernier mais on retrouve également d'autres sucres en moindre quantité tels que le maltose ; isomaltose ; le tréhalose ; le mélézitose ; l'erlose et le raffinose. Ces carbohydrates proviennent bien sûr du pollen mais également du

nectar que les abeilles ajoutent pour former les pelotes, on retrouve d'ailleurs des différences importantes de composition en carbohydrates entre le pollen récolté par l'homme et celui récolté par les abeilles. Ce dernier est plus riche en sucres réducteurs et généralement plus pauvre en sucres non réducteurs par rapport au pollen isolé directement de la plante. Le taux des glucides varie de 13% à 55% (Massaux, 2016).

4. Les lipides

Le pollen contient des lipides entre 1 et 10%, on les trouve dans le manteau pollinique et le cytoplasme de la cellule végétative. Les corps gras d'origine végétale ou animale sont des triesters du glycérol et d'acides acycliques à longue chaîne linéaire, ce sont les AG (acides gras). Ces derniers sont importants pour la reproduction ; le développement et la nutrition des abeilles, les plus représentés sont par ordre décroissants : l'acide α -linoléique (w3) ; l'acide palmitique AGS (Acide Gras Saturé) et l'acide linoléique (w6). Le pollen répond favorablement à la tendance diététique de réduire la quantité totale de graisse et de cholestérol et d'atteindre un rapport AGI (Acides Gras Insaturés)/AGS supérieur à 1. Les pollens ayant les taux les plus élevés, notamment en AG linoléique ; linoléiques ; myristique et dodécanoïques interviendraient dans l'inhibition de microbes pathogènes (DeGrandi-Hoffman et al, 2018).

5. Les micro-nutriments

5.1. Les vitamines liposolubles

Elles sont solubles dans les graisses et l'organisme peut les mettre en réserve (De-Melo et Almeida-Muradian, 2017) :

- **La vitamine A (rétinol) sous forme de caroténoïdes 1 à 20 %**

Il n'y a pas à proprement parlé de rétinol dans le pollen mais des caroténoïdes provitaminiques A, tel que le β -carotène, ce dernier est converti en rétinol dans notre organisme après absorption et l'on estime que 1 mg de β -carotène représente 167 μ g d'ER (Equivalent Rétinol). La vitamine A est impliquée dans les défenses immunitaires ; la différenciation et le renouvellement tissulaire ; dans la vision (en particulier la vision nocturne) et dans la protection cardio-vasculaire. Le pollen est riche en carotènes qui lui donnent le plus souvent sa couleur jaune orangée, 17% de ces carotènes ont été identifiés comme étant des β -carotènes, le reste étant encore inconnu.

- **Vitamine E (tocophérol) 4 à 32%**

La vitamine E a un rôle antioxydant, elle protège les AGPI (Acides Gras Polyinsaturés) ; les membranes cellulaires et les lipoprotéines. Elle intervient dans l'immunité et les processus inflammatoires mais aussi dans l'agrégation plaquettaire. Elle est considérée comme protectrice des autres vitamines et est également un anti-xénobiotique.

5.2. Les vitamines hydrosolubles

Elles sont par définition solubles dans l'eau et ne sont pas stockées dans l'organisme (en mg pour 100g de pollen) (Soares de Arruda et al, 2012) :

- **Vitamine B1 (thiamine) 0.6 à 1.3%**

La vitamine B1 est considérée comme un antalgique, elle agit en favorisant l'état de relaxation. C'est une vitamine indispensable aux métabolismes énergétiques.

- **Vitamine B2 (riboflavine) 0.6 à 2%**

La riboflavine participe au catabolisme des AG ; des AA et des bases puriques dans le cycle de Krebs. Une carence peut être à l'origine de dermatite et de lésion oculaire.

- **Vitamine B3 (acide nicotinamide) 4 à 11%**

Cette vitamine intervient dans la dégradation du glucose et dans les métabolismes énergétiques.

- **Vitamine B5 (acide pantothénique) 0.5 à 2%**

La vitamine B5 est un élément structurel du Coenzyme A. il est impliqué dans de nombreux métabolismes tels que le métabolisme des glucides ; des AG ; des AA ou dans la synthèse des hormones stéroïdiennes. On lui attribue des actions antistress ; antivirale ; anti allergique et anti asthénique. Une carence sera responsable de céphalées ; nausées et des fourmillements.

- **Vitamine B6 (pyridoxine) 5µg/100g**

Elle est anti-inflammatoire et anti histaminique, elle joue un rôle dans les mécanismes de détente et de bonne humeur. Une carence est à l'origine de perturbations du système immunitaire et des troubles du sommeil.

- **Vitamine B8 (Biotine) 0.05 à 0.07%**

La biotine joue un rôle important dans le métabolisme cellulaire du glucose agissant ainsi sur l'équilibre adaptatif du corps humain. Elle est nécessaire à la croissance cellulaire et intervient dans la production des AG et des AA. La complémentation en vitamine B8 est très recommandée pour maintenir la peau et les phanères en bonne santé.

- **Vitamine B9 (acide folique) 0.2 à 0.6 %**

L'acide folique participe au métabolisme des protéines et du matériel génétique, cette vitamine joue un rôle essentiel dans la synthèse des neuromédiateurs. Chez la femme enceinte, une carence provoque des anomalies de développement du fœtus.

- **Vitamine B12 (cyanocobalamine) 0.3 à 1%**

Cette vitamine contribue à la production des érythrocytes, elle est particulièrement conseillée en supplémentation dans les syndromes dépressifs ; des neuropathies diabétiques ou alcooliques.

- **Vitamine C (acide ascorbique) 7 à 56%**

La vitamine C possède beaucoup de propriétés, telles que l'action anti-inflammatoire et anti-oedémateuse sur la microcirculation, elle participe à la synthèse du collagène et à la protection vasculaire. Elle est également antivirale ; anti-infectieuse ; antihistaminique et immunorégulatrice ce qui lui confère une place de choix dans la prévention et le traitement des affections virales.

5.3. Les minéraux

Les teneurs en minéraux du pollen sont liées à l'espèce florale et à l'origine géographique, mais aussi aux types de sol et à la capacité de la plante à accumuler des minéraux dans le pollen. Une teneur trop élevée en cendres peut également être une indication d'impuretés d'origine minérale liée à un mauvais nettoyage du pollen. Le potassium est l'élément le plus abondant dans le pollen suivi du phosphore ; du calcium et du magnésium. La présence de cuivre ; de zinc et de fer ainsi que le rapport élevé en potassium/sodium présentent un intérêt pour les régimes nécessitant une balance électrolytique définie. Les principaux minéraux présents dans le pollen ainsi que leurs apports journalier recommandé sont repris dans le tableau suivant (**Massaux, 2016**) :

Tableau I : les minéraux présents dans le pollen et leurs apports journalier (Massaux, 2016).

Minéraux	Mg/100g	Apport journalier recommandé (mg/jour)
Potassium	400-2000	2000
Phosphore	80-600	1000
Calcium	20-300	1100
Magnésium	20-300	350
Zinc	3-25	8.5
Manganèse	2-11	3.5
Fer	1.1-17	12.5
Cuivre	0.2-1.6	1.2
Sélénium	0.005-0.05	0.005

II. Propriétés thérapeutiques et effets bénéfiques du pollen

Le pollen d'abeille est un produit végétal assez varié et riche en substances biologiquement actives, 200 substances ont été trouvées dans les grains de pollen de différentes espèces végétales (Zoubaier, 2017). Pour cela le pollen est considéré comme étant un aliment « complet » possédant un très grand intérêt nutritionnel et diététique.

En raison de sa composition, le pollen est classé en diététique parmi les meilleurs aliments dont on trouve toutes les substances nutritives indispensables à l'alimentation humaine (nutriments essentiels). Comme la viande, le pollen est une précieuse source de protéines contrairement à une opinion répandue, la teneur en protéines du pollen est très proche de celle de la viande, mais elle varie évidemment beaucoup en fonction des sortes de viandes et des types de pollens. La teneur en AA essentiels du pollen est environ 5 fois plus élevée que celle de la viande, il est aussi une excellente source d'oligo-éléments indispensables. Le pollen, en tant que composé alimentaire complet, est aussi un complément alimentaire de grande qualité. Pour les végétariens et végétaliens qui refusent de consommer de la viande, le pollen peut être une bonne alternative naturelle (Hummel et al, 2020). Le pollen, grâce à ses constituants, présente donc un potentiel intéressant dans plusieurs domaines :

1. Propriété nutritionnelle

La valeur énergétique du pollen est d'environ 400kcal /100g, il peut être administré pendant les périodes à haute demande énergétique comme la gestation ou l'allaitement. Il peut

pallier des carences en AA ; vitamines et autres nutriments qu'il contient (**Apimondia 2001 ; Domerego et al, 2009**).

2. Action anti-oxydante

Le pollen possède des propriétés anti-oxydantes qui lui sont principalement dues à la présence de Sélénium. En effet, le pollen est l'aliment naturel avec la noix du Brésil, qui contient le plus de sélénium. Le sélénium potentialise l'action de la glutathion peroxydase enzyme impliquée dans l'élimination des radicaux libres (**Komosinska-Vassey et al, 2015**). Cette dernière est également potentialisée par d'autres composés présents dans le pollen comme la provitamine A ; vitamines C et E ; manganèse ; zinc et les substances aux propriétés anti-oxydantes reconnues.

Quelque soit l'origine botanique des pollens, ils possèdent également tous un effet antioxydant grâce à leur teneur en flavonoïdes. Cependant, il a été observé que certains pollens possèdent une activité anti-oxydante plus élevée que d'autres.

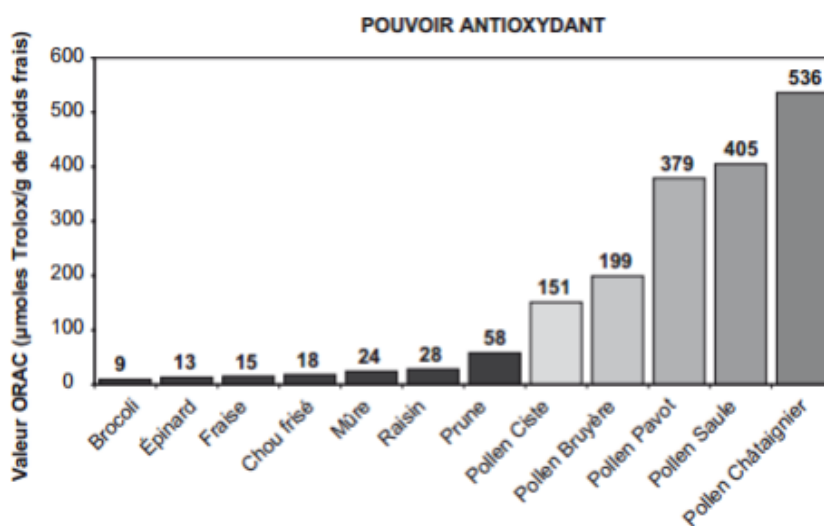


Figure 07 : test de la capacité d'absorption des radicaux oxygénés (ORAC) (**Massaux, 2014**).

Le test ORAC (Test Oxygen Radical Absorbance Capacity) permet de mesurer in vitro la capacité antioxydante en comparant différents aliments ou molécules. Il ressort sans équivoque de ce test que le pollen contient beaucoup plus de polyphénols que certains légumes et par conséquent a un pouvoir antioxydant beaucoup plus élevé. En effet, les polyphénols sont présents en grande quantité dans les légumes, les fruits et les céréales. Ils sont principalement sous forme de flavonoïdes, composés présentant des propriétés protectrices vis-à-vis des radicaux libres générés suite aux différentes agressions de l'environnement (**Massaux, 2012**).

3. Propriété digestive

Le pollen frais agit sur le système digestif en régulant le microbiote intestinal. Cela est dû aux lactoferments spécifiques présents dans le jabot des abeilles. Le pollen qui contient le plus de lactoferments est le pollen de Ciste. Par leur présence, les lactoferments restaurent et protègent la flore intestinale et aident ainsi à la régulation du transit (**Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016**).

4. Action détoxifiante

Les études approfondies et bien documentées sur des animaux ont montré l'action détoxifiante du pollen d'abeille, les rats ont été empoisonnés par des solvants organiques tels que le tétrachlorure de carbone et le trichloréthylène ainsi que l'éthionine et le fluorure d'ammonium causants des dommages important aux cellules hépatiques. Le pollen a abaissé le niveau de ces substances dans le sérum sanguin même à des valeurs physiologiques, ce qui prouve les propriétés thérapeutiques de ce produit en référence au tissu hépatique. Cependant, quand il a été administré avec des substances toxiques, il a protégé les cellules du foie des effets nocifs ce qui indique à son tour sa capacité à prévenir la toxicité. Dans le processus de détoxification, un rôle important est joué par les polyphénols principalement les flavonoïdes et les acides phénoliques (**Sessa Thony, 2020**).

5. Activité antibactérienne

Des études s'accordent pour démontrer l'effet bactériostatique et bactéricide des pollens quel que soit leur origine géobotanique. In-vitro, la croissance de certaines souches est inhibée. Des études ont été réalisées sur les espèces suivantes: *Listeria monocytogenes* ; *Pseudomonas aeruginosa* ; *Staphylococcus aureus* ; *Salmonella enterica* ; *Escherichia coli* où l'efficacité du pollen a été démontrée sur toutes ces espèces mais de manière variable (**Serra et al, 1994**).

6. Action cardiovasculaire

Chez l'animal, on a observé une diminution de l'agrégation plaquettaire ; de la cholestérolémie et de l'épaisseur de la plaque athéromateuse au niveau des artères. Ceci est possible grâce à la présence de vitamines B6 et B9 bénéfiques dans l'artériosclérose et de rutine qui prévient la formation des caillots sanguins. L'association de la vitamine E ; de potassium ; de magnésium et de la faible teneur en sodium contribue également à son action cardio-protectrice (**Blanc, 2010**).

7. Action antibiotique et antifongique

Les études ont montré que les extraits d'éthanol du pollen ont une activité antibiotique assez forte et efficace sur les agents pathogènes des bactéries gram-positives humaines (comme le *Staphylococcus aureus*) et les bactéries gram-négatives (notamment *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas Aeruginosa*) et sur des champignons tels que la *Candida albicans*, cette activité est due aux flavonoïdes et acides phénoliques que contient le pollen (**Thibault, 2017**).

8. Propriété anti-cancéreuse

Une recherche scientifique effectuée par le Dr Peter Hernuss, a montré que le pollen d'abeille aide à augmenter les cellules du système immunitaire qui combattent le cancer et à la production des anticorps et des globules rouges porteurs d'oxygène. Le pollen d'abeille aide également à prévenir les effets secondaires de la chimiothérapie en diminuant les nausées ; la perte des cheveux ; la faiblesse de l'énergie et presque tous ses autres symptômes et ses effets indésirables, sans oublier qu'il aide les personnes qui souffrent du cancer à mieux dormir (**Baudel, 2017**).

9. Action anti-inflammatoire

Le pollen est riche en protéines et acides aminés, il déclenche une forte sécrétion gastrique d'acide lors de son ingestion. La microflore apportée par celui-ci aiderait à l'équilibre de la flore intestinale et assurerait le transit grâce à la présence d'amidon et de fibres alimentaires celluloseuses. De plus, il exercerait une action anti-inflammatoire selon une étude menée chez le rat (**Blanc, 2010**).

10. Action immuno-modulatrice

L'activité immuno-stimulatrice du pollen est due à plusieurs facteurs, tout d'abord il a été démontré que les fractions polysaccharidiques provenant du pollen sont capables de stimuler l'activité immunologique en augmentant l'activité des macrophages, son rôle immunostimulant est une activité découlant de ses propriétés probiotiques. En effet, la majorité des cellules immunitaires se trouvant au niveau des intestins, en entretenant la flore intestinale il améliore l'immunité (**Thibault, 2017**).

11. Action fortifiante et vivifiante

Le pollen frais est plus riche et plus complet que tout autre aliment, car il contient de nombreux nutriments qui ne se retrouvent pas dans les produits issus de l'élevage des animaux (22 AA, 18 vitamines, 25 minéraux, 11 enzymes et coenzymes et 14 AG). Cette composition a permis au pollen d'avoir une action fortifiante et vivifiante qui émane directement des fleurs dont il est issu, il permet aussi de lutter efficacement contre l'asthénie

c'est-à-dire la fatigue physique et intellectuelle et contribue à augmenter les performances de l'organisme (Sessa Thony, 2020).

12. Action hypo-lipidique

Des études pharmacologiques expérimentales menées sur des rats et des lapins ont montré que le pollen à une activité hypolipidémique diminuant la teneur en lipides totaux plasmatiques et triacylglycérols. En outre, la diminution de la concentration lipidique dans le sérum a été fortement corrélée avec la teneur en hormones telles que l'insuline ; la testostérone et la thyroxine qui sont responsables d'un métabolisme lipidique plus élevé.

D'autres études cliniques réalisées sur des sujets humains ont confirmé ces bienfaits concernant l'activité hypolipidémique du pollen d'abeille. La teneur des substances lipidiques a été diminué de 20 à 35% dans le sérum sanguin chez les patients (Sessa Thony, 2020).

13. Action régulatrice des voies respiratoires

Le pollen frais est l'une des sources les plus riches en sélénium, la grande quantité d'antioxydants présents dans sa composition provoque un fort effet anti-inflammatoire sur les tissus pulmonaires protégeant ainsi les voies respiratoires. Il est donc recommandé pour lutter contre l'asthme (Marcucci, 1995).

14. Action stimulatrice de la concentration et de la mémoire

Le pollen est un excellent aliment et traitement à la fois qui renforce le système nerveux en améliorant les fonctions cérébrales telles que la mémoire ; l'apprentissage ; la compréhension ; la pensée et la capacité de concentration (Zoubaier, 2017).

15. Traitement de la prostate

La teneur élevée en vitamines B ; E ; C ; en AGPI ; en antioxydants ; en polyphénols ; en minéraux et en oligo-éléments aide à supporter le traitement et à réduire l'inflammation et les envies d'uriner fréquentes (Zoubaier, 2017).

16. Autres utilisation

Mise à part ses utilisations thérapeutiques, le pollen a aussi pas mal d'autres utilisations telles que (Xiaozhi et al, 2018 ; Kurek-gorecka et al, 2020) :

- **Action bénéfique sur la peau**

Le pollen d'abeille est souvent utilisé dans les produits topiques qui visent à traiter les manifestations inflammatoires et les irritations communes de la peau comme le psoriasis ; l'eczéma et l'acné. Les AA et les vitamines protègent la peau et aident à la régénération des cellules. Pour avoir tous les bienfaits du pollen d'abeille on doit le consommer par voie

interne et externe et ce pour rendre le traitement correct et totalitaire pour qu'il agit sur les trois couches de la peau : l'épiderme ; le derme et l'hypoderme.

▪ **Action anti-vieillessement**

Très riche en antioxydants, le pollen d'abeille frais est un véritable allié de beauté qui aide à combattre les radicaux libres ainsi que les signes de l'âge. Il contient également de nombreuses vitamines anti-oxydantes qui protègent les cellules cutanées et retardent le processus de vieillissement notamment la vitamine E, riche en AG essentiels qui régénèrent les cellules. Sa consommation estompe les rides ; retarde l'apparition des tâches brunes et efface les cicatrices d'acné. Le teint est plus frais et la peau plus lisse et brillante.

▪ **Effet bénéfique sur cheveux**

Le pollen est riche en rutine qui est un glucoside particulièrement utile pour le cuir chevelu donc il permet d'augmenter la résistance capillaire. Les vitamines de la famille B présentent dans le pollen participe à une chevelure saine et en bonne croissance, par exemple:

- La vitamine B5 lutte contre la chute des cheveux.
- La vitamine B8 aide contre la perte des cheveux et améliore l'élasticité des cheveux.
- La vitamine B9 favorise la réparation des cellules, renforce les racines des cheveux, participe à l'hydratation du cuir chevelu et prévient du développement des pellicules.
- La vitamine B12 aide à la construction des globules rouges et au maintien des cellules nerveuses saines.

Cela est primordiales car elles sont responsables de l'apport d'oxygène au cuir chevelu ainsi que les cheveux poussent et sont en meilleure santé.

▪ **Action protectrice sur les ongles**

Riche en méthionine, cystine et vitamine B6, le pollen renforce de manière durable des ongles fragilisés. Il favorise principalement la fabrication de kératine et de protéines indispensable à la bonne santé des ongles. S'il est pris lors des cures régulières, il rend ces derniers plus forts et robustes.

17. Mode d'utilisation de pollen d'abeille

Aujourd'hui, les consommateurs soucieux de leur santé préfèrent consommer des produits à valeur ajoutée tel que le pollen d'abeille qui permet de remplacer les ingrédients alimentaires conventionnels.

17.1. Critères qualitatif du pollen d'abeille

Le choix du type de pollen à consommer doit se faire avec soin et en suivant quelques critères importants tels que sa provenance qui doit être connue pour s'assurer de l'absence de pesticides qui nuisent à sa qualité nutritionnelle et hygiénique, le pollen frais à l'avantage de renfermer des lactoferments. L'origine est également l'un des critères respecté lors du choix, Le pollen polyfloral est intéressant pour une amélioration générale par contre le pollen monofloral a des indications plus spécifiques : celui de ciste est le plus riche en ferments lactiques et rééquilibre la flore intestinale précise Nicolas Cardinault ; celui d'aubépine apporte 24 % de protéines est recommandé pour les végétariens ; celui de châtaignier très riche en antioxydants et protège les cellules du vieillissement tandis que celui de saule fruitier contient des antioxydants spécifiques (lutéine et zéaxanthine) bons pour la vision (Nodiga, 2017).

17.2. Mesures de consommation du pollen d'abeille

Pour le Dr Becker, il est recommandé de faire une cure de pollen 2 à 3 fois par an idéalement lors des changements de saison pour évacuer la fatigue à la sortie de l'hiver, chasser le stress à la rentrée ou éviter la baisse de moral à la fin de l'année :

- Chez l'enfant moins de 12 ans, une cuillère à café de 6 à 10 grammes de pollen frais au cours du petit déjeuner, il peut être consommée dès que l'enfant a une alimentation bien diversifiée généralement à partir de 18 mois.
- Chez l'adolescent de 12 à 16 ans, une cuillère de 12 à 15 grammes de pollen frais au cours du petit déjeuner.
- Chez l'adulte, une cuillère à soupe de 15 à 20 grammes de pollen frais au cours du petit déjeuner.
- Certains sportifs de haut niveau peuvent en consommer jusqu'à 100g par jour.

Le pollen peut être consommé avec tout ce que l'on veut. Mais c'est en l'associant aux fruits qu'il révèle au mieux tout son potentiel car il existe une synergie entre fruits et pollen. On pourra ainsi en saupoudrer un jus, une compote, une salade de fruits et également avec du miel (Delafontaine, 2019).

Le pollen frais est un aliment très sensible à l'air et à la chaleur, il faut donc le conserver au congélateur et en sortir la quantité souhaitée au moment de la consommation.

Chapitre III

**Récolte, production et altération du
pollen d'abeille**

I. Conduite et gestion des ruchers

L'apiculteur se situe au début de la chaîne de production ce qui fait de lui un producteur primaire, certains producteurs s'occupent aussi de la mise en pot de pollen et de sa vente. Sa qualité et sa sécurité alimentaire dépendent donc de la façon dont l'apiculteur va gérer ses ruches ; travailler au rucher ; récolter le pollen et principalement de son nettoyage et sa mise en pot. Si malgré tout un problème arrive, l'apiculteur doit être en mesure de retrouver son origine et d'améliorer ses pratiques de production. Pour cela l'apiculteur doit respecter quelques bonnes pratiques :

1. Emplacement favorable des ruches

L'emplacement des ruches et du rucher permet d'assurer aux colonies des conditions optimales de développement ; de production et d'hivernage. Le bon emplacement d'une ruche est l'une des garanties d'une production de qualité, car il est primordial de soigner l'environnement dans lequel les abeilles évoluent (**ITSAP, 2018**). Un rucher doit être bien exposé avec les trous de vol des ruches dirigés vers l'est ou le sud-est de manière à permettre aux abeilles de profiter des premiers rayons de soleil du matin. En été, l'idéal serait que les ruches soient un peu protégées du soleil torride de l'après-midi par l'ombre d'un arbre ; d'un mur ou autres. En hiver et au printemps, les ruches doivent être à l'abri des vents froids du nord ou du nord-est. Des haies d'arbustes mellifères, des brise-vents où des claustras font très bien l'affaire. Pour qu'elles puissent profiter des rares rayons de soleil de l'hiver, les haies ou les arbres entourant le rucher doivent être régulièrement élagués et entretenus (**Hummel et Feltin, 2017**).

Pour éviter les maladies et pour une meilleure production, les bas-fonds humides et souvent dans le brouillard sont à proscrire ainsi que les zones à risques : inondations ; glissement de terrain ; incendies ; chute d'arbres... Il faut aussi éviter les terrains humides où ruissellent les eaux de pluie ; les zones basses où stagnent l'humidité et le froid. Un endroit légèrement en pente ; à flanc de coteau ; orienté vers l'est ou le sud-est donc bien ensoleillé mais également bien protégé de vent dominant serait l'endroit idéal. La présence des ressources alimentaires du pollen et nectar (arbres mellifères) est nécessaires pour les colonies pendant tout le temps où elles seront sur l'emplacement dans un rayon d'environ 2 km et d'un point d'eau propre à proximité du rucher tel qu'un ruisseau ; une mare ou un étang est un atout considérable, car cela évite à l'apiculteur de poser des abreuvoirs (**Le Conte, 2020**). Les besoins annuels d'une ruche sont estimés de 10 à 30 litres d'eau par saison.

L'eau sert à l'humidification des jeunes larves avant operculation ; à la préparation de la bouillie larvaire et à la régulation de la température interne de la ruche. Un emplacement avec un accès en voiture et facile d'entretien facilite considérablement le travail de l'apiculteur. Un terrain de grande surface permet un espace suffisant (environ 2 mètres ou plus) entre les ruches ce qui évite la dérive. Si un tel espace est impossible, on peut limiter la dérive des abeilles grâce à des repères géométriques de couleur pour permettre aux abeilles de différencier les ruches les unes des autres. Enfin, surélever les ruches d'une cinquantaine de centimètres par rapport au sol pour éviter l'humidification des ruches et empêcher la présence d'insectes ou des rongeurs nuisibles pour les ruches (**Hummel et Feltin, 2017**).

Les ruchers doivent être installés loin de toutes sources de pollution et dans un endroit calme et loin d'éventuelles sources de bruit. L'apiculteur doit éviter les zones pouvant entraîner des conflits : proximité d'industries manipulant des produits sucrés (raffinerie, confiserie...), lotissement avec des piscines, il doit s'informer également sur la présence d'autres ruches à proximité et éviter d'implanter ses ruches aux voisinages (**ITSAP, 2018**).

2. Identification et déclaration des ruches

Pour des raisons sanitaires, tout emplacement de ruches quel que soit le nombre des ruches doit être identifiable grâce à un numéro NAPI (numéro d'apiculteur) apposé à l'entrée du rucher ou sur au moins 10% des ruches. S'il y a vente des produits de la ruche, un numéro de Siret ; une déclaration des ruchers ; un registre d'élevage et un cahier de miellerie permettant la traçabilité du produit doivent pouvoir être présentés par l'apiculteur. Le registre d'élevage doit contenir la description de toutes les opérations effectuées sur les ruches (visite, réunion, transhumance, traitement, nourrissage, récolte...). Le cahier de miellerie doit contenir toutes les opérations effectuées sur les récoltes des ruches inscrites dans le registre d'élevage (numéro de la ruche productrice, nombre de cadres extraits, quantité produite, stockage, conditionnement, étiquetage et la date limite) (**Hummel et Feltin, 2017**).

3. Choix et entretien de matériel

Utiliser un matériel standardisé de bonne qualité est l'une des clés permettant de s'occuper des colonies dans de bonnes conditions. L'entretien de ce matériel et son renouvellement font également partie des actions de maîtrise de diverses pathologies et de la santé des colonies, un bon entretien garantit également la pérennité du matériel et cela par (**Moal et Volbert, 2015**) :

- Le choix des ruches qui pourront être facilement déplacées ; visitées ; traitées et nettoyées et qui permet une bonne aération des colonies ;
- Préférence des ruches d'un modèle standard et unique sur toute l'exploitation pour faciliter le renouvellement du matériel ;
- Protection des ruches en bois des dégradations liées à l'usure, l'humidité et aux attaques de xylophages ;
- Choix des traitements adaptés à la production de pollen (non toxiques pour le consommateur) et non toxiques pour les abeilles (huile de lin, cire microcristalline, peintures sans insecticide ni fongicide...);
- Dans le cas où les ruches sont en plastique, il faut s'assurer qu'il est d'une qualité alimentaire (il faut vérifier la présence du logo ou bien demander un certificat d'alimentarité au fabricant) ;
- Choix des matériaux permettant une bonne isolation contre la pluie et l'humidité en particulier un toit imperméable et si besoin un isolant thermique,
- L'évitement de l'utilisation des matériaux de récolte dont l'origine est inconnue.

4. Nettoyage et désinfection des ruches et de matériel utilisé au rucher

La propreté de tout le matériel utilisé lors de la production du pollen est l'un des critères importants de sa qualité finale, donc le nettoyage et la désinfection sont des étapes primordiales avant chaque production.

La conception des locaux (le lieu de préparation et de stockage du pollen) contribue à prévenir la contamination de pollen par des dangers issus d'activités voisines (métaux lourds, par exemple) ou liés aux bâtiments (poussière, petits fragments de peinture...) et à leur environnement. Elle répond également à des enjeux de confort et de sécurité des personnes qui y travaillent. De plus, les locaux doivent être faciles à nettoyer et à entretenir et doivent également tenir compte des paramètres de conservation des produits (humidité, température). Le nettoyage et la désinfection diffèrent selon la matière du matériel (**Giraud et Barbançon, 2014**) :

➤ Le matériel en bois

- Gratter d'abord le bois (ruche, couvre cadre, plancher, nourrisseurs...) pour éliminer la cire et la propolis puis collecter et éliminer ces déchets ;
- Désinfecter le bois par passage à la flamme pendant environ trois minutes, le bois doit prendre une couleur brune;

- Le bois peut également être plongé dans la cire microcristalline entre 150°C et 160 °C au moins dix minutes, à condition de l'avoir nettoyé auparavant.

➤ **Le matériel en plastique**

Le matériel en plastique tel que les ruchettes polystyrène et les nourrisseurs en plastique... ne peuvent pas être passés à la flamme donc ils sont grattés puis plongés dans un bain désinfectant (l'eau de javel...) et rincés.

➤ **Le petit matériel**

- Nettoyer et désinfecter la brosse à abeilles dans un bain désinfectant ;
- Nettoyer l'enfumeur par grattage. En cas de maladie contagieuse dans le rucher, il faut désinfecter le lève-cadre entre chaque ruche visitée en le passant à la flamme au moins 30 secondes (attention au risque d'incendie) ou l'aide d'un désinfectant.

➤ **Les vêtements**

Après chaque visite sanitaire suspecte ou le traitement des ruches malades, l'apiculteur doit :

- Nettoyer avec de l'eau savonneuse les bottes, les vêtements et les gants (ou les passer en machine à laver) pour enlever les résidus de cire de propolis et de miel ;
- Si besoin, désinfecter par trempage dans une solution désinfectante une dizaine de minutes.

5. La santé des colonies

La santé des colonies est l'une des conditions importantes que l'apiculteur doit respecter est cela par la surveillance de la santé de ses colonies pour déceler au plus vite tout problème sanitaire. Ce point est essentiel pour limiter la contamination des colonies proches dans un objectif de prévention, de surveillance et de lutte contre les maladies.

5.1. Surveillance des colonies

L'apiculteur doit réaliser au moins deux visites à visée sanitaire par an avec observation de tous les cadres en sortie d'hivernage (printemps) et après la fin de la dernière miellée (automne). L'observation régulière des colonies permet de détecter une ruche malade ou bourdonneuse ou un risque de famine et de réagir rapidement, donc ces visites sont indispensables pour connaître l'état de développement et l'état de santé des colonies au cours de la saison. Le meilleur moyen de l'évaluer est d'ouvrir la ruche pour observer directement la colonie, mais ces manipulations perturbent les colonies et demandent de bonnes conditions

météorologiques pour être effectuées et présentent un risque de propagation des agents pathogènes.

La colonie d'abeille constitue un super organisme capable dans une certaine mesure et dans des conditions favorables de rester en bonne santé, tandis que certains facteurs déséquilibrent sa santé et par conséquent le fonctionnement de cet organisme, parmi ces facteurs on peut citer :

5.2. Les facteurs environnementaux

- **Le climat :** Des modifications climatiques peuvent altérer les colonies d'abeilles. Les basses températures, les périodes de pluies ou de vents violents entraînent des confinements et ont des influences directes néfastes sur le couvain. Ces facteurs peuvent favoriser également certaines maladies.
- **L'alimentation :** Un apport alimentaire de haute qualité doit notamment assurer le développement du couvain. L'extension des monocultures et l'affaiblissement de la biodiversité peuvent avoir par conséquent une carence des abeilles en acides aminés ce qui est préjudiciable à leur santé, au développement du couvain et à la santé de la colonie.
- **L'homme et les pratiques apicoles :** La gestion zootechnique des ruchers (nourrissement, transhumances, préparation et gestion de l'hivernage) et également la gestion du matériel apicole sont des éléments clés de l'équilibre sanitaire. Certaines maladies infectieuses ou parasitaires constituent une véritable pathologie d'élevage.
- **L'homme et les pratiques agricoles :** Les abeilles sont d'indispensables insectes pollinisateurs et de ce fait, sont sensibles aux pesticides utilisés sur les cultures ou dans les ruches. La toxicité des pesticides est un sujet réel mais malheureusement très controversé (Vidal-Naquet, 2011).

5.3. Les maladies qui attaquent les colonies d'abeille

Comme tout être vivant, l'abeille peut être victime de nombreuses maladies ; des parasites ; des virus ; des bactéries ou des champignons prennent pour cible le couvain ; les adultes voire la ruche entière. Les maladies les plus fréquemment rencontrées dans les ruches sont :

- **La varroase :** La varroase et son cortège de virus associés sont identifiés par les scientifiques comme une cause des affaiblissements et des pertes de colonies, elle est provoquée par *Varroa destructor*. Ces symptômes ne sont pas visibles lorsque l'infestation est faible ou lorsque la colonie est en pleine croissance (par exemple au printemps), leur apparition traduit une infestation trop élevée (Mackowiak, 2009). La varroase existe en Algérie depuis 1981,

cet acarien a causé beaucoup de dégâts au niveau des ruches du pays malgré tous les traitements effectués par les apiculteurs. En effet, plus de la moitié des ruchers avaient un niveau d'infestation en varroas dans le couvain dépassant le seuil tolérable estimé à 15 % dans une colonie saine. Cette situation était caractérisée par la présence de très nombreuses abeilles incapables de voler sur le plancher et dans la grappe. Malgré les moyens de lutte contre la varroase soient nombreux, les apiculteurs en Algérie préfèrent d'utiliser les dispositifs artisanaux à base de lanières imprégnées de tau-fluvalinate et d'amitraz, ces lanières sont introduites dans les colonies et laissées plusieurs mois. La matière active qui circule dans la colonie est très concentrée au départ, alors qu'au bout de quelques semaines il ne reste pratiquement plus rien, Il y a donc d'abord surdosage puis sous-dosage. Ces conditions sont connues pour développer le phénomène de résistance qui a été signalé dans divers pays vis à vis de plusieurs matières actives telles que l'amitraz ; la fluméthrine ; le fluvalinate et le coumaphos. Les inconvénients de l'application des traitements traditionnels en raison de non disponibilité d'autres produits homologués sur le marché, sont liés à leur faible efficacité et au risque associé à la présence des résidus dans les produits de la ruche (**Adjlane et al, 2012**).

D'après une enquête de terrain effectuée en 2009 par INMV (l'Institut national de la médecine vétérinaire) d'Algérie, la varroase reste l'une des principales pathologies qui affectent les élevages. Cette maladie est largement répandue dans toutes les régions étudiées et présente dans 100 % des ruches échantillonnées (**Adjlane et al, 2012**).

- **La nosérose :** La nosérose est une maladie de l'abeille adulte, souvent considérée comme opportuniste. Elle est due à la prolifération de *Nosema apis* et/ou de *Nosema ceranae* qui est un champignon microscopique parasite dans les cellules intestinales de l'abeille. Les symptômes et les dommages de *N. apis* sont constatés principalement au printemps et tout au long de la saison apicole pour *N. ceranae*. En raison de son développement insidieux, cette maladie est appelée le tueur silencieux. La nosérose provoque une dépopulation progressive des colonies et dans de nombreux cas elle passe totalement inaperçue (**Mackowiak, 2009**), il forme des spores résistantes qui restent viables pendant longtemps, l'infection peut aboutir à des diarrhées. Elle se traduit par des tremblements chez les imagos d'abeilles, par une incapacité à voler et par un déclin de la colonie jusqu'à sa disparition. Au cours de cette étude, les symptômes typiques de la nosérose ont été observés dans environ 17 % des ruchers visités. Le développement de *Nosema* peut provoquer des affaiblissements voire la mort des colonies. Les colonies affaiblies sont susceptibles de développer d'autres maladies (infections mixtes) (**Adjlane et al, 2012**).

- **La loque américaine :** c'est une maladie présente dans le monde entier et entraîne l'effondrement voire la mort de la colonie. La bactérie responsable de cette maladie peut se présenter sous forme végétative (c'est-à-dire que la bactérie est en plein développement) ou sous forme sporulée, cette dernière est une forme de résistance qui apparaît dès que les conditions ne sont plus favorables au développement de la bactérie. La spore permet à la maladie de rester latente pendant très longtemps et de redémarrer dès que les conditions lui redeviennent favorables. Ainsi, les spores de *P. larvae* peuvent survivre dans les produits de la ruche (miel, cire), les écailles loqueuses de nymphes (restes des nymphes mortes qui se dessèchent pour se transformer en écailles adhérentes à la paroi des alvéoles) et dans l'environnement jusqu'à 40 ans voire plus. La contamination des larves a lieu essentiellement au cours des premières 48 h du stade larvaire. L'infection peut être transmise aux larves par des abeilles nourrices ou par des spores restant dans le couvain (**Roy, 2013**). Les symptômes cliniques de la loque américaine ont été observés dans environ 20 % des ruchers étudiés, Les résultats ont mis en évidence la présence de 45 % d'abeilles infectées par la bactérie *P. larvae* (agent causal de la loque américaine) dans les cinq zones étudiées (**Adjlane et al, 2012**).
- **La loque européenne :** La loque européenne est une maladie du couvain « ouvert » présente dans le monde entier, elle provoque un affaiblissement des colonies qui peut impacter la production des ruches. Elle sévit principalement en milieu ou fin de printemps, période durant laquelle les colonies ont développé de grandes surfaces de couvain. Les signes de la maladie peuvent disparaître spontanément des colonies infectées avant la fin de la saison d'activité mais sont susceptibles de réapparaître les années suivantes. Cette maladie est favorisée lorsque les colonies sont carencées en protéines, ces carences ont trois origines principales : le mauvais temps qui empêche le butinage, l'absence de fleurs et une population de Varroa trop élevée par rapport à des populations d'abeilles et de couvain trop grandes (**Vidal-Naquet, 2011**).
- **L'acariose :** Cette maladie contagieuse est causée par un acarien, *Acarapis woodi* Spécifique de l'abeille, celui-ci passe toute sa vie dans le système respiratoire de l'Hyménoptère. Ses hôtes sont tout aussi bien des ouvrières que des reines ou des faux-bourçons. En se nourrissant de l'hémolymphe, il affaiblit l'insecte et peut lui transmettre des virus ou des bactéries. Les déchets qu'il génère (excréments, mues, cadavres...) finissent par tellement encombrer les voies respiratoires de l'hôte que celui-ci ne peut plus respirer. Les signes de la présence de ce parasite sont nombreux et variés : affaiblissement et dépeuplement de la colonie ; ailes asymétriques ; diarrhées ; difficulté à voler ; couvain réduit, peu de miel...

Un examen est de ce fait indispensable pour correctement identifier la cause de maladie. Le traitement peut reposer sur de l'acide formique ; du menthol ou du thymol ou bien être réalisé grâce à de l'amitrazé ou du fluvalinate.

- **Le couvain sacciforme « sacbrood bee virus SBV » :** C'est une maladie du couvain largement répandue qui touche les jeunes larves. La maladie est considérée comme peu grave. Les guérisons sont généralement spontanées sauf en cas de co-infection provoquant un affaiblissement de la colonie. Cette maladie est d'origine virale, le virus entraîne la mortalité des larves qui prennent une forme de sac rempli de liquide (contagieux) puis se dessèchent en écailles. Elle est due au Carence en protéines ou à la présence d'autres maladies notamment la varroase (Charrière et al, 2012).
- **La maladie noire (paralyse chronique de l'abeille, mal des forêts, petites noires, chronic bee paralysis virus CBPV) :** Selon Charrière et al (2012), la maladie noire touche les abeilles adultes et se manifeste par des abeilles noires (dépilées) ou des abeilles tremblantes. On l'appelle également « mal des forêts » car elle se développe dans les colonies produisant du miel de miellat. La maladie peut régresser mais peut aussi se développer rapidement et provoquer de fortes mortalités d'abeilles devant la ruche voire l'effondrement soudain de la colonie. Cette maladie est d'origine virale, elle est due à tout ce qui peut entraîner des lésions au niveau de la cuticule des abeilles (et donc la pénétration du virus dans l'hémolymphe) :
 - Une surpopulation dans les ruches en particulier lors d'épisodes de mauvais temps au printemps et en été confinant les abeilles dans la ruche ;
 - Des trappes à pollen (lésions avec l'abrasion des poils) ;
 - De longues transhumances de ruches populeuses ou également une colonie sensible.
- **Le couvain plâtré (le couvain calcifié ou ascosphérose) :** L'ascosphérose encore appelée mycose est une maladie du couvain qui est due à un champignon *Ascosphaera apis*. Au début les pré-pupes mortes sont couvertes d'un duvet de mycélium floconneux blanc, Elles prennent ensuite une couleur blanc sale et deviennent dures et cassantes comme du plâtre puis deviennent verdâtres et finalement noires (des corps fructifères noirs remplis d'asques puis de spores). Les momies noires contiennent des spores et sont donc très contagieuses, ces spores sont disséminées par les abeilles adultes lors du nettoyage du couvain et restent dans les colonies d'abeilles pendant des années et se développent si les conditions le permettent. L'ascosphérose est provoquée par l'humidité, les fortes variations de températures entre le jour et la nuit et le refroidissement du couvain (chute brutale de température, visite trop longue ou pose de hausse trop précoce). Les larves sont plus sensibles à l'âge de deux à trois

jours ou après avoir subi un refroidissement les premiers jours après operculation, les colonies affaiblies peuvent dépérir ou guérir spontanément (**ITSAP, 2018**).

- **Le couvain tubulaire ou couvain chauve :** Le couvain tubulaire ou couvain chauve se caractérise par la construction d'un bourrelet de cire au niveau de la partie supérieure de l'alvéole qui ne sera pas operculée, la nymphe plus ou moins âgée est visible à l'intérieur. Cette maladie est attribuée aux larves de la petite fausse teigne (*Achroia grisella*) qui un lépidoptère de la même famille que la grande fausse teigne (*Galleria mellonella*) qui infeste les cires à l'état larvaire. Les larves creusent des galeries à la base des alvéoles qui restreignent l'espace disponible pour la croissance des larves d'abeilles, celles-ci en position plus haute ne sont pas toujours operculées. Cette maladie est causée par un léger affaiblissement des colonies ou par la présence de couvain tubulaire est le signe d'une infestation non négligeable de *Varroa* et d'abeilles peu nettoyées (**ITSAP, 2018**).
- **Le frelon asiatique ou frelon à pattes jaunes :** En plus de la prédation de butineuses, l'impact majeur du frelon asiatique réside dans le ralentissement, voire l'arrêt de butinage à une période où l'abeille constitue normalement des réserves pour l'hiver. Détecté en France en 2005, le frelon asiatique (*Vespa velutina*) est classé comme danger sanitaire de deuxième catégorie (**Mackowiak, 2009**).

Pour la limiter quelques précautions sont nécessaires (**ITSAP, 2018**) :

- En cas de maladie contagieuse, commencer la visite par les colonies qui semblent les moins atteintes, nettoyer le lève-cadre et désinfecter les gants après la visite de ces colonies suspectes.
- Ne pas déclencher le pillage des ruches lors des visites ;
- Marquer clairement les colonies suspectes ;
- Enregistrer les observations faites pendant les visites.

➤ **Gérer les colonies malades :**

Lorsqu'une colonie malade est détectée, la prise des mesures de destruction ou de transvasement est nécessaire pour limiter la contamination des colonies voisines et pour cela l'apiculteur doit (**Roger, 2012**) :

- Éviter les échanges entre les colonies malades et les colonies saines ;
- Transvaser les colonies sur cires neuves ;
- Détruire les colonies faibles ou malades.

II. Récolte de pollen

1. Mécanisme de la récolte du pollen par l'abeille

Avec l'arrivée du printemps, les premières fleurs attirent l'abeille domestique (*Apis Mellifera*) avec différentes caractéristiques telles que les couleurs vives ; les motifs variés ; les guides nectarifères et l'émission de parfums et lui offrent leur nectar et leur pollen qui serviront de nourriture à toute la colonie et en particulier aux larves. Cette source de nourriture précieuse est récoltée par les butineuses, des ouvrières âgées de plus de 20 jours spécialisées dans cette fonction. Les fleurs quant à elles profitent des visites régulières de l'insecte, car une petite partie du pollen non utilisée par l'abeille pourra être transférée à d'autres fleurs assurant ainsi leurs fécondations. Il s'établit donc entre l'abeille et la fleur pollinisée une véritable coopération à savoir une interaction transitoire qui est avantageuse pour les deux espèces. Quelques observations de terrain permettront de se rendre compte que cette interaction n'est pas spécifique, les abeilles peuvent polliniser de très nombreuses espèces de fleurs (en saison, une colonie visite 20 à 40 millions de fleurs par jour et récolte une centaine de kilos de nectar et 30 à 50 kg de pollen du début du printemps jusqu'à l'automne). De plus, selon l'espèce considérée on observe que les fleurs ne sont pas toutes butinées aux mêmes heures de la journée : certaines le sont plutôt en matinée (Colza, Marronnier d'Inde, Coquelicot, Pissenlit...) ; d'autres durant toute la journée (arbres fruitiers, Chou, Fraisier, Châtaignier, Trèfles, Romarin, Thym...) et d'autres encore mais plus rarement l'après-midi (Jacinthe des bois, Ail des ours...) (**Busti, 2012 ; Perdrix, 2017**).

L'abeille possède des récepteurs du goût qui ne sont pas seulement situés au niveau de la cavité buccale et de la langue (goût oral), mais aussi sur les antennes (goût antennaire) et les pattes (goût tarsal). Le seuil de sensibilité au goût sucré est faible (on peut considérer qu'il est avantageux pour l'abeille d'ignorer les nectars trop dilués), mais ce seuil varie en fonction de l'état de nutrition de l'abeille (une abeille affamée depuis plusieurs heures reconnaît le goût sucré d'une solution très diluée de saccharose). Enfin, les antennes jouent également le rôle de nez qui leur permet de potentiellement distinguer des centaines voire des milliers d'odeurs différentes.

En venant récolter le nectar, l'abeille emporte du pollen sur son corps qu'elle agglutine en pelotes par le mouvement coordonné de ses pattes. Il est courant d'observer chez une butineuse deux pelotes de pollen sur la face externe des tibias de la troisième paire des pattes (pattes P3 ou pattes méta thoraciques). Le mécanisme de la récolte du pollen est le suivant (**Busti, 2012**) :

- ✓ **Première phase :** L'échancrure de la première paire de pattes (pattes P1 ou pattes prothoraciques) permet le nettoyage des antennes sur lesquelles le pollen se colle (le pollen des plantes entomophiles étant généralement gluant).
- ✓ **Deuxième phase :** Les P1 rassemblant le pollen en boulettes qui sont transmises à la deuxième paires de pattes (pattes P2 ou pattes méso thoraciques) puis aux pattes P3.
- ✓ **Troisième phase :** La face interne des tarse des P3 possède une brosse constituée de 10 rangées de poils raides, qui permet d'une part de récupérer les boulettes venant des P2 et d'autre part de récupérer le pollen sur le reste du corps. Le pollen est ensuite placé dans les corbeilles des P3 puis tassé par les P2. Les pelotes ainsi formées sont retenues dans les corbeilles grâce à une rangée de soies raides recourbées (râteau) qui borde chaque corbeille.

Pour récolter une charge de pollen, l'ouvrière travaille aux champs pendant huit minutes en conditions favorables et quinze minutes par temps défavorables. Elle rapporte 12 à 14 mg s'il provient du maïs et 25 mg du pommier, Elle met cinq minutes pour emmagasiner sa récolte. Une pelote de pollen pèse environ 6,5 mg soit 155 pelotes pour 1g. Il faut quatre pelotes par jour pour l'élevage d'une abeille pendant six jours et il faut à peu près un kilo de pollen pour élever un kilo d'abeilles ce qui représente environ 75000 voyages (**Caille, 1974**).

Le nectar : Il est prélevé grâce à un appareil buccal spécialisé de type lécheur-suceur. Au moment de la visite, l'abeille introduit sa langue (ou proboscis) au fond du tube de la corolle (ou d'un éperon nectarifère, s'il n'est pas trop long, ou encore au niveau d'un nectaire). La langue recouverte de poils sur toute sa longueur et à bords repliés en gouttière formant un canal alimentaire, retient le liquide à la manière d'un pinceau au niveau des poils et l'aspire via le canal alimentaire sous l'effet des mouvements de l'hypopharynx. Un deuxième canal alimentaire formé par le rapprochement des maxilles et des palpes labiaux autour de la langue permet en outre l'aspiration d'une grande quantité de liquide (eau, nectar) (**Adam, 2011**).

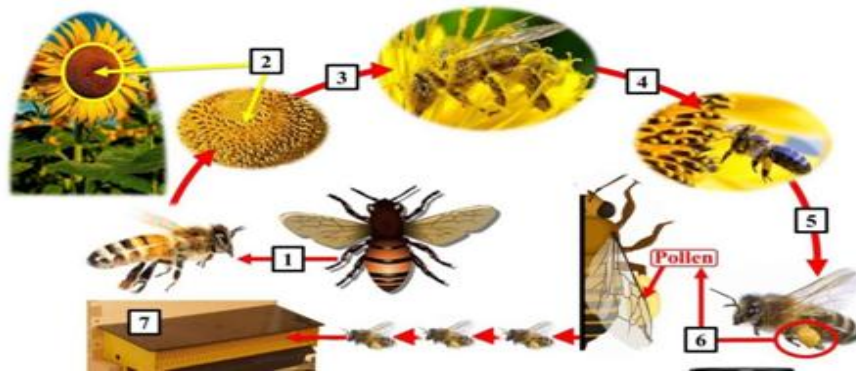


Figure 08 : processus de collecte du pollen par les abeilles (Thakur et Nanda, 2020).

[1] abeille ; [2] fleur avec pollen ; [3] abeille recouverte de pollen microscopique ; [4] abeille portant une boulette de pollen dans ces pattes postérieures ; [5] abeille prête à porter une boulette de pollen ; [6] pattes postérieures avec boulette de pollen ; [7] piège à pollen à l'entrée de la ruche.

1.1. La communication des abeilles

La danse est un système de communication remarquable propre aux abeilles, Découverte en 1919 par M. **Karl Von Frisch** et qui permet de diffuser dans la colonie un grand nombre de renseignements ou de messages. L'abeille qui a trouvé une source de nourriture régurgite une partie de sa récolte de nectar en rentrant à la ruche, puis aussitôt elle exécute une série de mouvements très stéréotypés, elle se met à exécuter sur le rayon ou elle se trouve une sorte de danse. Il y a trois chorégraphies distinctes selon la distance de la source de nectar (July ,2012) :

- Moins de 25 mètres : la danse en rond ;
- Entre 25 et 100 mètres : la danse en faucille ;
- Plus de 100 mètres : la danse frétilante en huit.

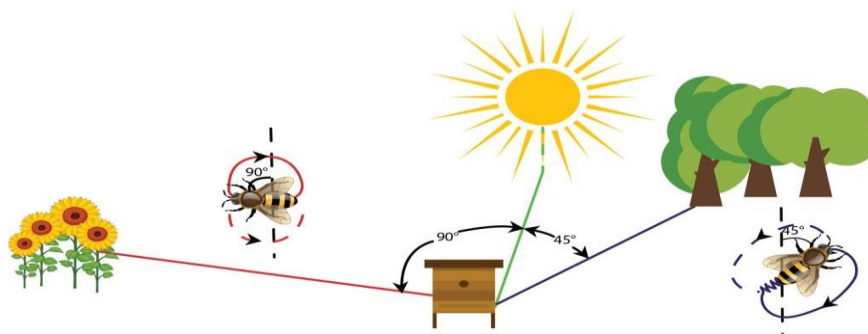


Figure 09 : Schéma de l'orientation de la danse en huit par l'éclaireuse fonction du soleil et de la source de nourriture (Couvillon, 2012).

1.2. Transformation des pelotes de pollen en pain d'abeille

Les abeilles transforment le pollen récolté en pain d'abeilles avant de le stocker, ce dernier est issu d'un processus de fermentation dans les conditions naturelles de la ruche. Pour fabriquer leurs pains, les abeilles transportent le pollen qu'elles récoltent vers les cellules de la ruche où ces pelotes sont triturées tandis qu'elles ajoutent une petite quantité de miel ; de la propolis ; des enzymes et de cire le mélange est ensuite soumis à un processus biochimique engendré par les enzymes de la salive et du suc gastrique de l'abeille. Sous l'action des micro-organismes ; de l'humidité et de la température de la ruche (entre 35 et 36°C), ce mélange se transforme en pain d'abeilles au bout de 3 mois environ, l'altération rapide des pelotes de pollen récolté par les abeilles et leurs incapacité de les digérer sont les raisons principales de cette transformation (Pitta et Markaki, 2010).



Figure 10 : pain d'abeille (Wikipedia, 2021).

1.3. Les facteurs influençant la récolte du pollen par les abeilles

La quantité du pollen récoltée par les abeilles dépend de plusieurs facteurs :

❖ Les facteurs internes

- L'absence de la reine n'arrête pas la récolte, mais après certain elle devient perturbée ;
- La qualité du pollen récolté est pratiquement proportionnelle à l'étendu du couvain et l'introduction de couvain ouvert ou opercule dans une ruche induit une augmentation de la récolte de pollen par les ouvrières ;
- La santé générale de la ruche.

❖ Les facteurs externes

- L'origine botanique des fleurs visitées par les abeilles joue un rôle majeur dans la quantité et la qualité du pollen ;
- Les conditions climatiques de vol.

2. Production du pollen par l'apiculteur

Le pollen est une bonne source de protéine et donc un excellent aliment de compensation pour les végétariens et végétaliens. Cette valeur a fait du pollen un aliment financièrement intéressant et pour l'exploiter et bénéficier du travail des abeilles, l'homme a dû trouver un procédé pour prélever une petite partie de cette récolte sans nuire à la vie de la ruche, C'est ainsi qu'un appareillage appelé «trappe à pollen» a été créé. Par ce système, l'apiculteur va pouvoir recueillir un peu de ce trésor offert par les abeilles.

2.1. Trappe à pollen

2.1.1. Définition

La trappe à pollen est une Grille spéciale placée devant l'entrée de la ruche qui détache les pelotes de pollen que les abeilles rapportent dans leurs corbeilles et les recueille dans un petit tiroir (Ravazzi, 2007).

2.1.2. Description d'une trappe à pollen

Toutes les trappes destinées à la récolte du pollen se caractérisent par trois parties essentielles (Prost et le conte, 2005 ; Perdix, 2017) :

- **Le grillage piège** : c'est une grille verticale en plastique perforée ayant un diamètre de 4,5 à 5 mm correspond au diamètre de l'abdomen de l'ouvrière. La trappe contient sur les côtés deux trous d'un diamètre d'un centimètre environ permettent aux mâles de sortir, mais les butineuses trouvent vite cette ouverture qu'elles utilisent pour sortir et entrer avec leurs pelotes de pollen sans passer par le peigne, donc l'apiculteur doit empêcher l'entrée de ces abeilles (conserver que la fonction sortie) et pour cela un petit morceau de tuyau en plastique transparent est introduit dans le trou et dépasse de 2 ou 3 centimètres à l'extérieur ce qui est suffisant pour qu'elles ne puissent pas trouver l'entrée.
- **Le grillage de séparation** : est un tamis horizontal en acier inoxydable à mailles de 3 mm qui laisse passer le pollen dans le tiroir et empêche le contact entre le pollen et l'abeille.
- **Le tiroir** : appelé également bac à pollen, il est placé sous la grille et destiné à recevoir les pelotes de pollen qui se détachent des pattes de butineuses. Il est soit en bois ou en métal, son fond est plat ou concave.

2.1.3. Les types des trappes à pollen

Les modèles des trappes varient en fonction de leurs positions : au trou de vol (trappe d'entrée) ; intégré dans le plancher (trappe de plancher) ou sur le haut de la ruche (très rare). Certains modèles permettent une entrée et une sortie des abeilles séparées (Bruneau, 2011). Deux modèles sont principalement utilisés par les apiculteurs :

➤ **Trappe d'entrée**

Elle se fixe devant la ruche et s'adapte facilement à tous les types de ruches. Elle est relativement économique, son tiroir est en général d'une capacité assez faible et il est exposé aux intempéries ce qui nécessite pratiquement la récolte journalière du pollen (**Gauthier, 2014**).



Figure 11 : trappe à pollen d'entrée (**Agrilisa, 2021**).

➤ **Trappe de fond**

Elle est intégrée au plancher de la ruche et reste toute l'année sous la ruche. Contrairement à la trappe d'entrée, la trappe de fond a un tiroir d'une grande capacité donc elle ne nécessite pas une récolte journalière et également le pollen reste mieux abrité. Cette trappe nécessite la plupart du temps un support métallique pour ne pas poser la ruche directement sur des parpaings ou sur le sol (en cas de transhumance) (**Gauthier, 2014**).

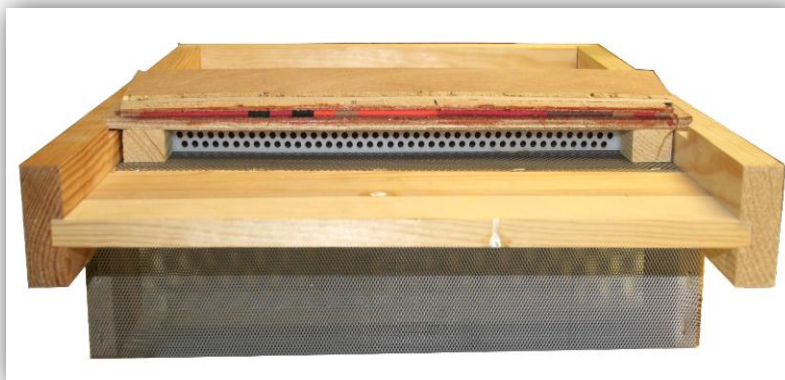


Figure 12 : trappe à pollen plancher (**Naturapi, 2021**).

2.1.4. Fonctionnement d'une trappe à pollen

De nombreux modèles de trappe à pollen existent mais elles fonctionnent toujours selon un principe simple et identique : Les butineuses de retour à la colonie doivent passer par un grillage qui comporte des trous que l'on appelle peigne pour pénétrer dans la ruche. En passant au travers de ces derniers, les pelotes se détachent et elles tombent dans un tiroir auquel les abeilles n'ont pas accès (**Tremblay, 2016**).

Lors de la mise en place ou du retrait du peigne, l'apiculteur doit éloigner les abeilles en utilisant de la fumée pour éviter de les écraser ou de les couper en deux, le peigne agissant comme une guillotine. Malheureusement, quelques pertes sont toujours observées lors de la récolte du pollen qui se fait en fin de journée lorsque l'activité est retombée afin d'éviter l'utilisation de la fumée pour ne pas dénaturer le pollen. L'apiculteur récupère les pelotes tombées dans le filet ou le bac qui doit rester propre et conforme aux bonnes pratiques d'hygiène afin de ne pas contaminer la récolte suivante (**Thibault, 2017**). Les trappes doivent être placées sur les ruches sans leurs peignes pendant quelques jours afin que les abeilles s'habituent à cette nouvelle configuration, la récolte sera soit continue soit temporaire. En cas de récolte continue, les apports vont diminuer après deux ou trois jours car les abeilles vont trouver le moyen de passer avec leurs pelotes (plus petites). En cas de récolte alternative ou temporaire cet apprentissage sera ralenti et l'impact pourra être plus important sur les ruches (perturbation plus forte). La récolte de pollen doit s'effectuer tous les jours ou au maximum tous les deux jours car le pollen frais ne se conserve guère au-delà de cette période sans être altéré (son taux d'humidité est élevé) (**Bruneau, 2011**).

Lors de sa récolte, l'apiculteur doit prendre en considération les besoins annuels des abeilles en pollen (30 à 50 kg/an/ruche). Sur cette quantité, il va en prélever environ 3 kg par an et par ruche soit 5 à 10 % au maximum, cela est toujours dans le souci de respecter la vie de la colonie. D'ailleurs la trappe ne doit pas être placée le premier mois de la récolte des abeilles à fin de leurs laisser le temps de stocker la quantité de pollen dont elles ont besoin (**Gauthier, 2014 ; Tremblay, 2016**), car un apport permanent de pollen de faible quantité pour la colonie peut engendrer une malnutrition des jeunes abeilles et donc leurs espérances de vie sera plus courte et elles donneront des colonies affaiblies ; en plus de ça un apport réduit en pollen interrompt momentanément la ponte de la reine et par conséquent la colonie sera moins peuplée (**Delamotte, 2019**).

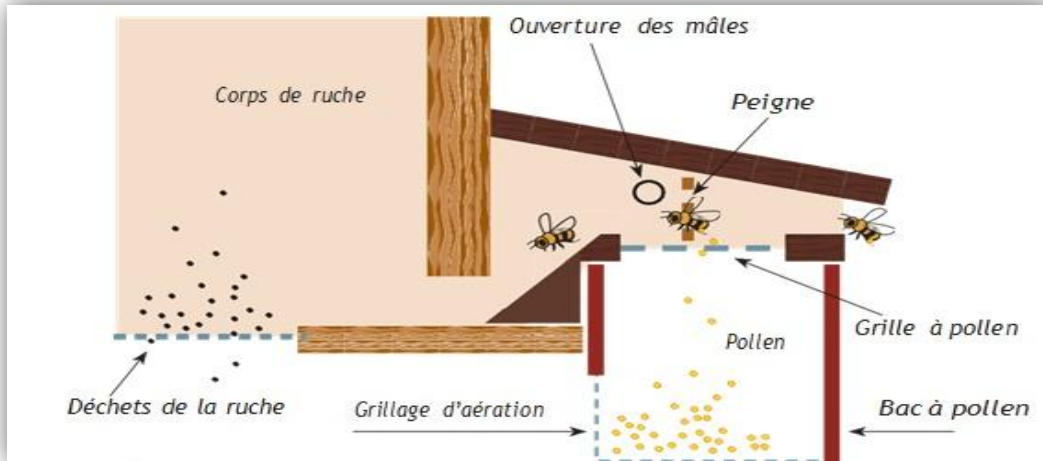


Figure 13 : mécanisme de fonctionnement d'une trappe à pollen d'entrée (Bruneau, 2011).

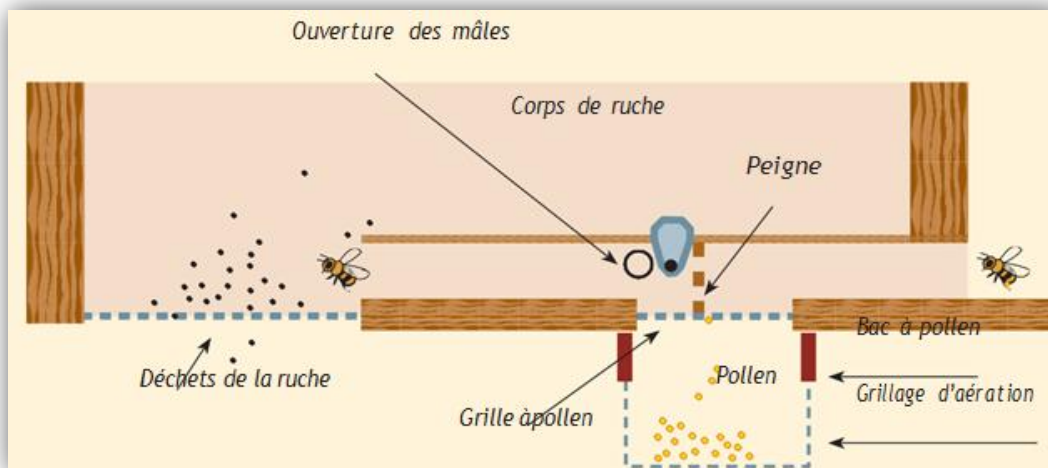


Figure 14 : mécanisme de fonctionnement d'une trappe à pollen plancher (Bruneau, 2011).

3. Choix des colonies

Lors de la récolte l'apiculteur doit bien choisir les colonies, ce choix se base sur certains critères (Bruneau, 2011) :

- La colonie doit être saine, exempte de couvain plâtré et également des momies car leur dimensions leur densités sont similaires au pollen ce qui rend leur tri très difficile ;
- La récolte de pollen ne peut se faire que sur des colonies déjà bien développées ;
- Le suivi de près de la fièvre d'essaimage est très important car la récolte de pollen diminue très fortement en cas de fièvre.

III. Altération de pollen d'abeille récolté

Le pollen d'abeille frais est un aliment très riche en nutriments (vitamines, protéines, eau...), il est particulièrement sensible. Une fois récolté, il rentre en contact direct avec plusieurs facteurs qui peuvent réduire ou même détruire sa qualité et également compromettre sa sécurité.

La saveur, l'hygiène et la qualité nutritionnelle du pollen ont trois ennemis principaux : L'oxygène contenu dans l'air qui peut oxyder le produit, endommageant ainsi sa saveur ou favorisant la reproduction d'organismes néfastes (Moisissures et Bactéries); Les micro-organismes communément contenus dans l'environnement, l'équipement, les outils, les mains de l'opérateur, etc. Avec leur prolifération, le produit peut devenir impropre à la consommation voire même constituer un danger pour la santé du consommateur; L'activité enzymatique et/ou physiologique de l'aliment lui-même contribue à l'accélération du vieillissement du produit. Il est possible d'intervenir sur toutes ces causes principales de détérioration de la qualité du pollen avec des modifications d'atmosphère adéquates pour maintenir pendant plus de temps sa couleur, son goût et son apport nutritionnel, c'est-à-dire toute sa qualité et sa valeur économique (Albitar, 2010).

1. L'humidité et l'activité de l'eau (AW)

Le pollen frais comme tous les aliments à un certain taux d'humidité (20% à 30%), L'eau peut donc être considérée comme étant formée de (Albitar, 2010) :

- **Eau liée** : une partie de l'eau est retenue par les substances. Elle ne fait pas partie de la phase hydrique réelle et ne contribue pas à la dissolution des éléments solubles tels que le sel... L'eau liée peut, par contre, être adsorbée par des forces de cohésion plus importantes avec la matrice solide et/ou avec les autres molécules d'eau (forces physico-chimiques de type Van der Waals, liaison hydrogène ou autres).
- **Eau libre** : il s'agit de la principale forme sous laquelle se présente l'eau dans le pollen frais ; il s'agit alors d'une forme solvant quelques composés et sels. Notons que dans le cas de corps "solides" tel que le pollen l'eau retenue dans les espaces interstitiels et les pores par des forces de capillarité liées à la tension superficielle de la phase liquide, présente des propriétés semblables à celles de l'eau libre ($A_w = 1$).

La teneur en eau peut avoir un impact important sur les critères de qualité du pollen tels que le goût ; la texture ; l'apparence ; la forme et le grammage du produit. Elle a des implications sur des conditions permises et marquantes ; des conditions économiquement

importantes, la durée de conservation ; des mesures de qualité du pollen ; les fonctionnements de transformation ; ainsi une augmentation du régime de l'accroissement microbien, qui peut non seulement abîmer un produit avant qu'il atteigne les rayons mais pourrait également diminuer la durée où il peut rester frais (**Isengard, 2001**).

La teneur en eau se rapporte au nombre de molécules d'eau qui devraient être comportées au pollen. L'humidité peut entrer dans les grains d'un certain nombre de voies, il pourrait être liée à la méthode de production du produit ; l'humidité atmosphérique dans l'endroit de production ; la méthode d'emballage ; ou il peut lier à la méthode de stockage (**Isengard, 2001**).

L'humidité excessive dans le pollen peut entraîner la condensation dans les machines utilisées aux procédés de production du pollen. Ceci peut mener à la corrosion ou aux obstructions, qui peuvent avoir comme conséquence le temps d'arrêt non planifié tandis que les machines sont fixes. Par conséquent, la mise en œuvre d'une analyse de la teneur en eau par une méthode précise est devenue un élément clé dans les compagnies de production du pollen. La défaillance d'observer cette étape dans ce procédé a pu entraîner un choc négatif sur la qualité du pollen, sa sécurité, et la rentabilité. (**Land et Steinberg, 1980 ; Albitar, 2010**).

2. Les fausses teignes

La fausse teigne est un papillon de nuit, de la famille des mites qui pond dans les ruches et dont les larves et se développent dans les rayons de cire de la ruche. Il existe deux types : la petite (*Achroia grisella*) et la grosse (*Galleria mellonella*), qui se trouve être la plus fréquente et la plus vorace dans nos ruches. Le papillon de la première mesure moins de 1 cm alors que celui de la seconde peut aller jusqu'à 2 cm (**Fer, 2014**).

Une infestation de fausses teignes est aisément identifiable aux déjections noires que l'on retrouve sur les supports posés sur le fond de l'armoire à cadres ou des ruches divisibles. En outre, plusieurs opercules bombés ou ouverts de cellules accolées (couvain tubulaire) indiquent la présence d'une galerie creusée par la fausse teigne. Les fils de soie tissés forment une protection contre les abeilles (**Pierred, 2016**).

Les chenilles de fausses teignes commencent à se développer à partir de 20 °C, mais sont en pleine activité entre 25 et 35 °C et elle a besoin d'obscurité, de chaleur et de protéines qu'elle obtient à partir de la dégradation des pelotes de pollen ce qui provoque la perte de ses composants ; de sa valeur nutritionnelle et même sa détérioration, Tout développement est stoppé au-dessous de 10 °C (**Fer, 2014**).

3. Les microorganismes

Le pollen est un produit particulièrement sensible, c'est un milieu biologiquement très actif qui peut présenter de réels risques alimentaires s'il est mal conditionné. Le pollen est exposé à des contaminations microbiennes. Le pollen peut être contaminé même avant sa récolte par les abeilles, d'ailleurs le risque de contamination est très élevé au moment où le pollen est encore sur la plante et dans la période où il reste dans les pièges de collecte à l'entrée de la ruche, cette contamination peut être attribuée à diverses sources (les abeilles mellifères ; l'environnement ; les insectes et les humains). A cet effet, le contrôle de la qualité microbiologique du pollen produit et commercialisé par les apiculteurs est primordial pour déterminer les microorganismes qui peuvent se développer dans le pollen d'abeille : les coliformes totaux ; les coliformes fécaux ; les germes aérobies mésophiles totaux ; les germes anaérobies totaux ; les levures et les moisissures, ainsi que les salmonelles et les staphylocoques (**Belhadj et al, 2012**).

Une fois qu'ils contaminent le pollen et dans des conditions favorables (PH ; l'humidité ; température favorable), ces microorganismes commencent à se développer en dégradant les composants du pollen (protéines ; vitamines ; lipides ; glucides ; minéraux...) et donc altèrent sa qualité nutritionnelle et sensorielle. Autre que la qualité nutritionnelle, la qualité sanitaire du pollen est également affectée car les microorganismes au cours de leurs développements libèrent des toxines qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé des consommateurs et voir même mortels à des fortes concentrations (**Adjlane, 2017**).

- **Les champignons**

La contamination fongique est une croissance des moisissures (champignons) qui s'effectue généralement dans les champs. Pour proliférer, elles ont besoin de trois choses: de la matière organique ; de l'eau et de l'oxygène. Le pollen peut leur fournir les deux premiers ingrédients. S'il est exposé à l'air, la moisissure va alors avoir tout ce qu'il lui faut pour se développer dans une certaine plage de température et à partir d'une période de 48 heures pendant la récolte et le stockage. La moisissure apparaît naturellement avec le temps et la dégradation des grains de pollen (**Ward, 2020**).

Certains champignons peuvent produire des mycotoxines qui sont des petites molécules néfastes pour la santé. Le principal problème est que les traitements thermiques ou antifongiques dans l'industrie agroalimentaire vont éliminer les moisissures mais pas les mycotoxines. Les mycotoxines sont très dangereuses, elles peuvent en effet causer des réactions allergiques ; des irritations ; des infections ; des intoxications ainsi que des problèmes respiratoires (**Tozlovanu, 2008**).

4. Les pesticides

Appelé également produits phytosanitaire, c'est un terme générique qui rassemble les insecticides ; les fongicides ; les herbicides et les parasitocides conçus pour avoir une action biocide. C'est une substance utilisée par les agriculteurs pour lutter contre des organismes considérés comme nuisibles pour les cultures agricoles tels que les insectes ravageurs ; les champignons ; les adventices et les vers parasites afin de limiter les risques de perte de récoltes et donc d'améliorer le rendement. Les résidus des pesticides qui pénètrent les grains de pollen des fleurs, sont transportés dans les pelotes de pollen au cours de leurs récoltes par l'abeille, ce qui provoque une grande variété d'effets sur la physiologie des abeilles. Le temps d'exposition des abeilles aux pesticides et également le stade de développement des individus exposés (abeille adulte ou couvain) sont les deux facteurs qui déterminent le degré de danger (**Chauzat et al, 2006**). La consommation d'un pollen contaminé par des pesticides peut provoquer certaines pathologies chez le consommateur comme la maladie de Parkinson, le cancer de la prostate, certains cancers hématopoïétiques (lymphome non hodgkinien, myélome multiple), et également la chute de production d'anticorps (**Samuel et al, 2019**).

L'apiculteur doit s'assurer que les champs autour de ces ruchers sont traités par des pesticides les moins toxiques en respectant les doses prescrites par les fabricants. Le fait d'augmenter la dose n'augmente pas nécessairement l'efficacité de traitement mais accroît généralement les risques d'exposition.

En juin 2018, des LMR (Limite Maximale des Résidus) pour le miel ; le pollen et la gelée royale ont été recensées pour 400 substances actives de pesticides. Pour la grande majorité d'entre elles, la limite fixée est celle de la limite de détection des méthodes d'analyse. Aujourd'hui, des LMR n'ont pas été fixées pour toutes les substances actives dans le miel, le pollen et la gelée royale (**ITSAP, 2018**).

La seule solution pour éviter ou bien diminuer les dangers des pesticides est de bien respecter les doses fixées par la réglementation et également leurs modes d'application (**Samuel et Laurent, 2001**).

Le pollen juste après sa récolte doit impérativement passer par quelques analyses microbiologiques est indispensable non seulement pour assurer une bonne qualité hygiénique et une bonne conservation mais aussi pour garantir la sécurité sanitaire du consommateur.

5. Les métaux lourds

Les métaux lourds sont naturellement présents dans les sols, dans l'eau et dans l'air, mais ils peuvent également se présenter sous la forme de résidus dans les denrées alimentaires en raison des activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie ou les gaz d'échappement. Nous sommes exposés à ces métaux lourds entre autres en consommant des aliments contaminés ou de l'eau contaminée, et cette accumulation de métaux lourds peut avoir des effets nocifs au fil du temps (**Boisset, 2017**).

Les principaux contaminants retrouvés dans le pollen sont les métaux lourds et les pesticides qui proviennent des pratiques agricoles et/ou apicoles. C'est pour cette raison et dans le but de garantir la meilleure qualité possible à ce produit, qu'il faut cultiver les plantes destinées à la récolte du pollen à 3 kilomètres minimum de toute source de contamination (**Thibault, 2017**).

Chapitre IV

**Nettoyage, conservation et
commercialisation du pollen**

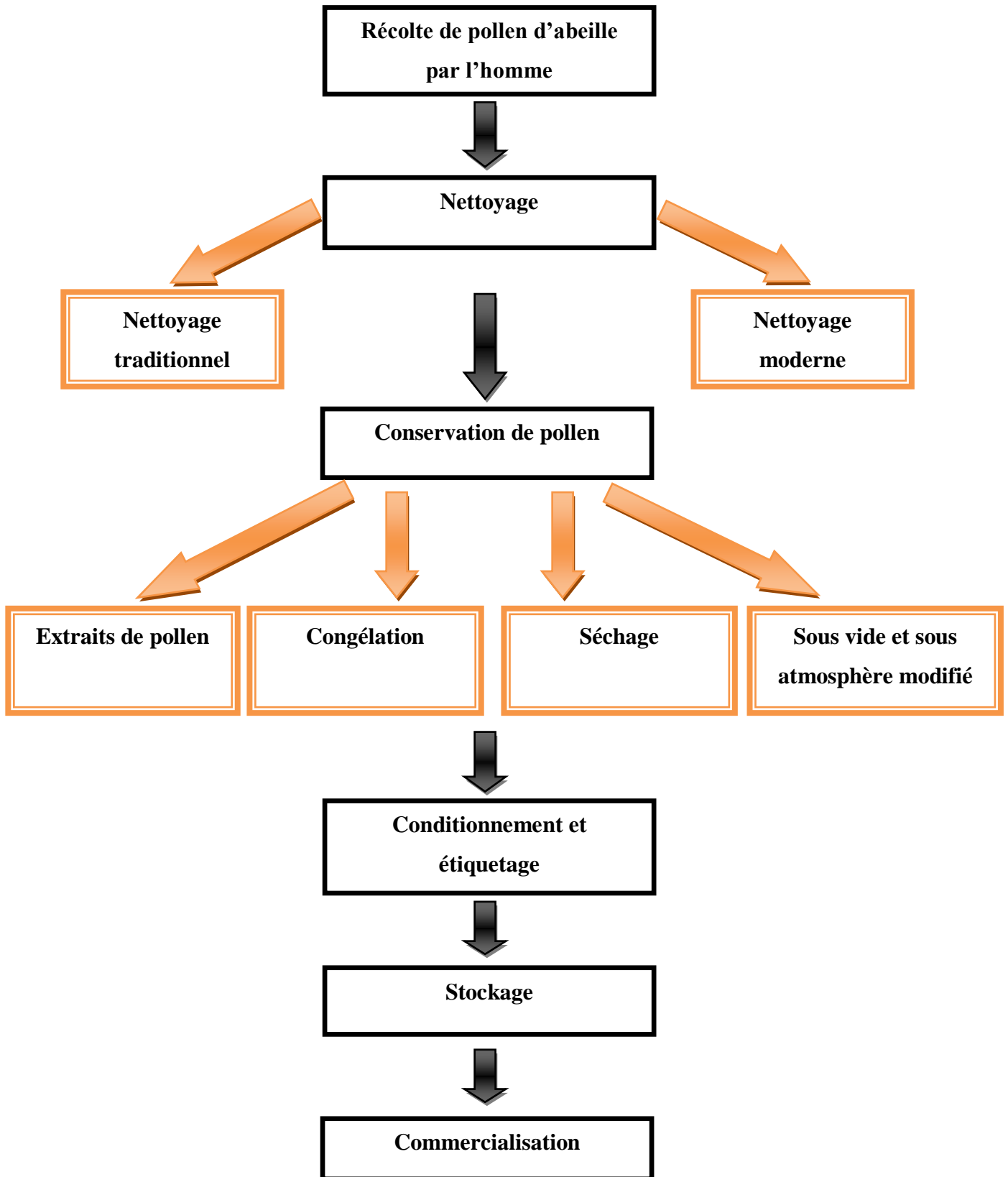


Figure 15 : Schéma représentant les étapes de nettoyage et conditionnement des pollens d'abeilles.

I. Nettoyage de pollen récolté

Une fois récolté, le pollen de chaque ruche est pesé, ceci permet de comparer les ruches à meilleur rendement et ainsi sélectionner les plus rentables pour augmenter la productivité (Thibault, 2017). Le pollen, qu'il soit congelé ; à l'état frais ou séché, devra subir un nettoyage qui est opération mécanique simple qui se déroule directement après sa récolte, c'est le point le plus fastidieux. En effet, les trappes ramassent les débris les plus gros de la ruche car les abeilles ne peuvent les évacuer du fait de la présence de la grille (Gauthier, 2014). La qualité du pollen dépend principalement de son nettoyage ; de son séchage et de sa mise en pot.

1. Nettoyage traditionnel

Le nettoyage primitif ou traditionnel est une opération simple et manuelle qui se limite sur les petites productions artisanales, c'est une opération qui nécessite des petits matériels faciles à utiliser et à entretenir (tamis, trieur à pollen, pince à épiler). Cette technique malgré qu'elle n'est pas coûteuse ; simple et applicable par tous les apiculteurs mais elle n'est pas autant professionnelle que le nettoyage industriel (moderne).

Le tri des pelotes est important puisqu'il s'agit d'éliminer toutes les impuretés présentes dans le mélange. Il se réalise en 3 étapes (Thibault, 2017) :

- **La première étape :** elle consiste en un tri grossier à l'aide d'un tamis pour éliminer les abeilles, larves mycosées, larves de fausse teigne, morceaux de plantes, poussières. qui sont récupérés dans le tamis avec les grosses pelotes.
- **La deuxième étape :** elle se fait par un trieur à pollen qui fonctionne avec un système de soufflerie, ce dernier consiste à séparer les éléments en fonction de leur poids. Les pelotes de pollen, grâce à leur poids tombent directement dans un bac situé sous l'entonnoir par contre les éléments légers sont déviés et tombent dans un second bac où on y retrouve des pattes d'abeilles ; morceaux de mues ; de cuticules ; des insectes ; de la poussière de pollen et également des brisures de bois. Un deuxième passage est recommandé pour affiner le tri, ces impuretés mélangées aux pelotes légères et à la poudre de pollen n'est évidemment pas jeté, mais il peut être récupéré pour rentrer dans la composition de l'alimentation à usage vétérinaire ou pour nourrir les abeilles.
- **La troisième étape :** c'est la dernière étape, elle consiste à un tri manuel avec une pince à épiler dans un bac à fond clair pour éliminer ce qui est passé à travers les mailles du tamis. On retrouve en majorité des larves mycosées, des morceaux d'abeille et parfois on y retrouve des

pelotes de propolis qui sont laissées dans le mélange. C'est l'occasion de goûter les différentes pelotes de pollen pour en éliminer les plus amères lorsqu'il s'agit d'un pollen polyfloral.

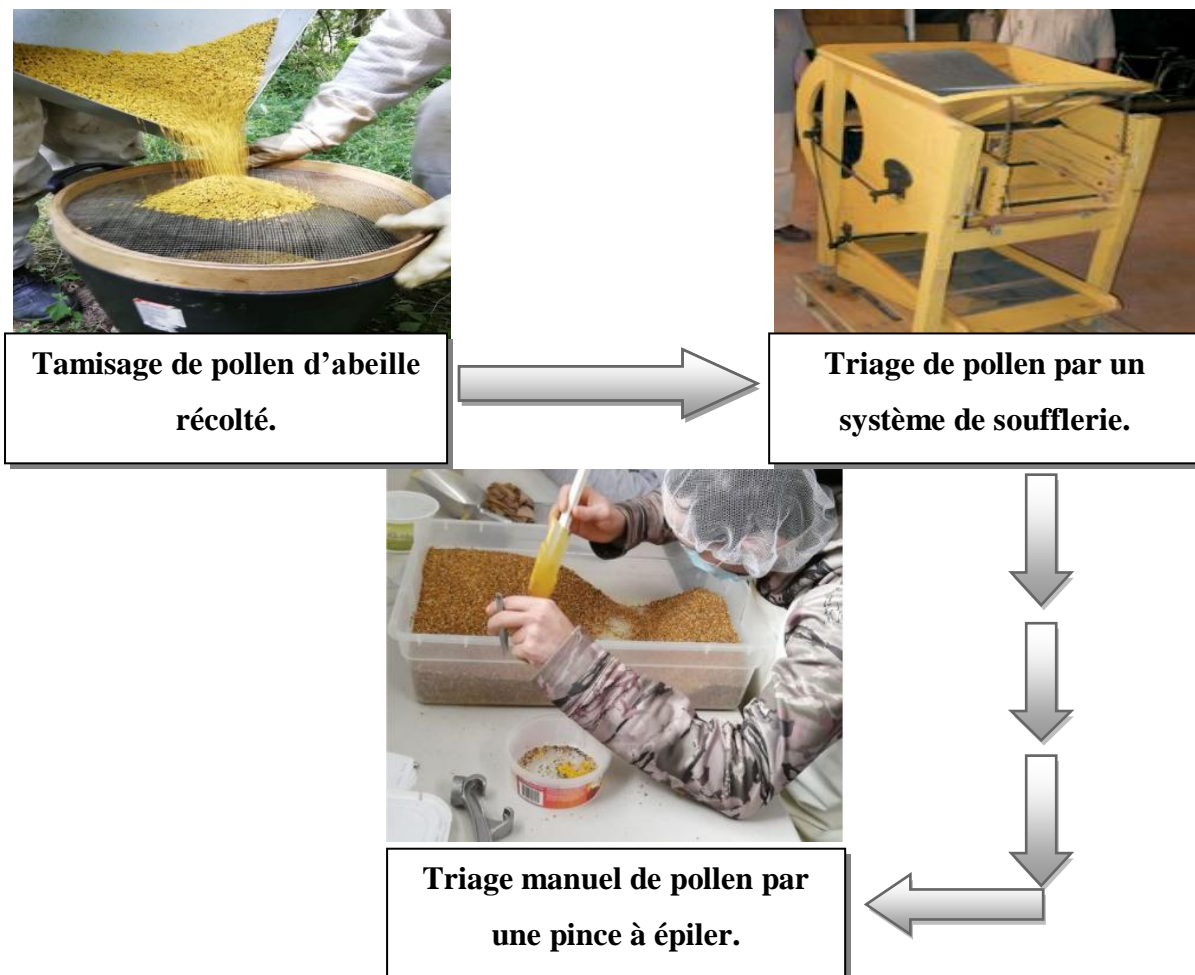


Figure 16 : les étapes de nettoyage traditionnel de pollen d'abeille récolté (Bruneau, 2012 ; Thibault, 2017).

2. Nettoyage industriel (moderne)

Les consommateurs aujourd'hui sont devenus très conscients et ils cherchent un régime alimentaire bien équilibré, dont le pollen et grâce à sa valeur nutritionnelle occupe une place très importante. De ce fait la demande sur le pollen ne cesse pas d'augmenter, mais la récolte et le nettoyage artisanal sont incapables de la subvenir en termes de quantité et également de qualité, car ce processus prend beaucoup de temps et d'effort pour produire de très petites quantités, ce qui a poussé les apiculteurs à adopter cette technique (nettoyage moderne) afin de réduire le temps et d'économiser des efforts et d'énergie. Des machines professionnelles sont donc conçues pour améliorer la production. Cette technique de nettoyage industrielle permet non seulement d'améliorer le rendement et la vitesse de production, mais également d'améliorer la qualité de ce nettoyage car cette méthode respecte

mieux les conditions d'hygiène ; de sécurité et élimine les risque de contamination et donc le produit final sera d'une meilleure qualité.

Différentes machines spécifiques pour le triage moderne sont commercialisées mais leur principe reste presque le même, car la plupart d'entre elles sont basées sur des treillis traversés par un flux d'air, ce qui permet d'éliminer les particules les plus légères. Le pollen doit être présenté dans le flux en une couche très mince pour éviter les zones non ventilées. Par la suite, il est possible d'éliminer les éléments plus lourds en jouant sur la gravité (chute plus rapide des éléments lourds) ou sur la différence de force centrifuge. Une bande aimantée est nécessaire pour enlever les particules métalliques. Le trieur le plus courant n'est autre qu'un tarare spécialement adapté au pollen. (Bruneau, 2012)

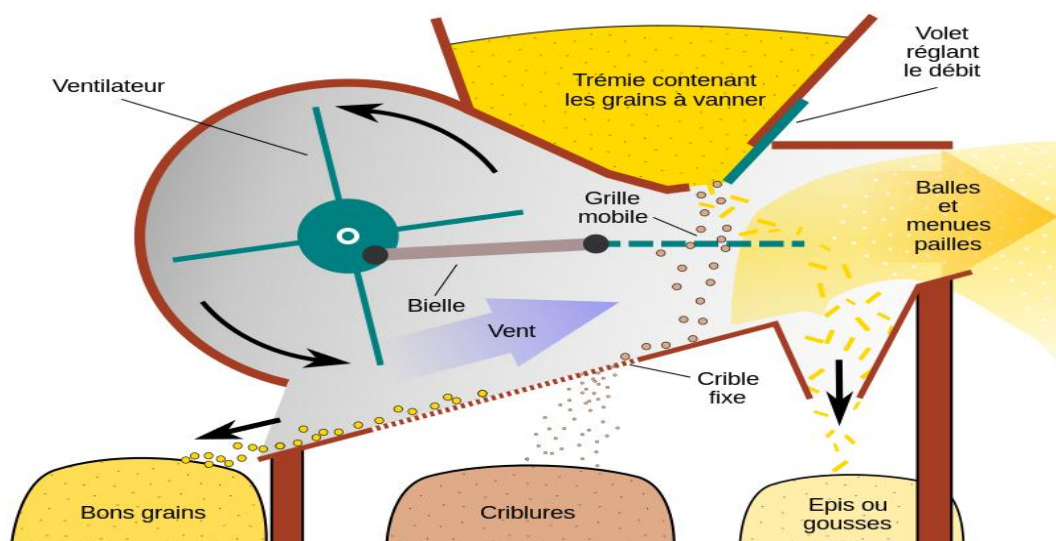


Figure17 : schéma du fonctionnement d'un tarare à pollen (Etiennked, 2013).

Aujourd'hui, il existe plusieurs autres modèles de trieurs modernes plus sophistiqués sur le marché qui sont classés selon plusieurs caractéristiques tel que le type de pollen qu'ils trient, leurs rendements ; leurs systèmes de fonctionnements et également leur efficacité. Parmi ces différents modèles on peut citer :

➤ **Trieurs à pollen en bois** : le diaphragme en acier installé à l'intérieur de ce trieur et la ventilation (deux ventilateurs) aident à trier le pollen et donc le pollen (sans particules) sort d'un côté et les particules de l'autre côté. Ce trieur peut trier le pollen sec et cru avec un rendement d'environ 200 kg pollen/jour et une efficacité de 80 à 90% (Anel.gr, 2021).



Figure 18 : trieur à pollen en bois (Anel.gr, 2021).

➤ **Trieurs à pollen pro suprêmes** : c'est l'un des trieurs à pollen les plus efficaces. Le pollen passe par des tamis en inox et un flux d'air qui élimine les particules les plus légères, tandis que les éléments les plus lourds sont éliminés grâce à des vibrations. Ce trieur automatique élimine jusqu'à 95% des particules, il a une capacité de 100 kg par heure et fonctionne avec du pollen gelé ou humide (Anel.gr, 2021).



Figure 19 : trieur à pollen pro suprême (Anel.gr, 2021).

Le nettoyage de pollen doit respecter quelques bonnes pratiques et cela pour garantir un produit final de bonne qualité et qui sont :

- ✓ Le nettoyage devrait débuter dès la récolte du pollen, mais si un conditionnement a lieu, il doit se faire dans un local propre, sans poussière et sans odeur idéalement avec un contrôle de l'humidité et cela est primordial pour éviter toute altération ou contamination du pollen ;
- ✓ Vérifier avant chaque nettoyage le bon état et la propreté de tout le matériel ainsi que des locaux où s'effectue le nettoyage et le stockage du pollen ;
- ✓ Sécher ou surgeler le pollen de préférence avant de le nettoyer car c'est très difficile de le nettoyer correctement lorsqu'il est à l'état frais ;
- ✓ Un contrôle visuel reste indispensable quelle que soit la qualité de la trieuse.

II. Techniques de conservations du pollen d'abeille

Le pollen d'abeille est un aliment complet et contient de nombreux éléments que les produits d'origine animale ne possèdent pas, d'ailleurs il est plus riche en protéines que n'importe quelle source animale et il est également très riche en vitamines et en minéraux et surtout il contient environ 20% à 30% d'eau (FAO, 2018). Cette composition est aussi bénéfique qu'elle est, mais elle expose le pollen à plusieurs altérations par plusieurs facteurs et par différents microorganismes qui le contamine. Et pour mieux la préserver sa qualité, une technique ou une combinaison de plusieurs techniques de conservation son appliquer au pollen juste après son nettoyage :

1. Conservation par la chaleur (le séchage)

En principe le séchage est une méthode qui consiste à éliminer partiellement ou totalement l'eau contenue dans le pollen provenant de l'humidité extérieure ou de la condensation nocturne et surtout de son humidification au cours de la confection des pelotes par l'abeille (Gauthier, 2014). Les micro-organismes ne peuvent plus proliférer et la plupart des réactions chimiques ou enzymatiques de détérioration sont ralenties (DGCCRF, 2019). Le séchage ou également appelé la déshydratation partielle est une méthode classique très utilisée dans la conservation du pollen et qui s'effectue par :

1.1. Séchage au soleil

Egalement appelé séchage à l'air libre, Il s'effectue sous l'action du vent ; du Soleil ou de l'air où le pollen devrait être couvert pour éviter la lumière directe du soleil et la surchauffe. Une façon simple de faire un séchoir solaire est d'utiliser des tamis ou des boîtes

de tout type de matériel propre, d'y déposer une mince couche de pollen sur le fond et de le recouvrir d'un couvercle opaque pour éviter la lumière du soleil qui pourrait réduire les propriétés du pollen. La boîte ou le tamis doivent être placés au soleil pendant la journée et ramenés à l'intérieur si l'humidité augmente trop pendant la nuit. Le temps nécessaire pour sécher le pollen varie selon l'endroit où il s'effectue ce séchage, l'idéal étant de retourner le pollen tous les jours jusqu'à ce que les boulettes de pollen soient sèches. Le temps que nécessite cette méthode est l'un de ces principaux inconvénients (FAO, 2018).

Il est possible également d'effectuer le séchage naturel dans une petite pièce de conditionnement dans laquelle on placera du chauffage, de la ventilation et de la déshumidification. À ce moment, on placera le pollen en fine couche sur des fins grillages à l'intérieur de la pièce. Le séchage s'arrête lorsque l'humidité atteint 10% qu'on peut détecter avec un appareil, mais avec l'expérience on arrivera à le déterminer manuellement (Tremblay, 2016).

Le séchage au soleil présente deux principaux avantages : peu de travail et pas d'investissement. Mais très souvent les résultats obtenus sont médiocres car les produits sont souillés de sable et de poussière. Ils subissent les attaques des animaux, des insectes et des micro-organismes, les pertes sont ainsi importantes. De plus, les produits s'abîment, sèchent trop ou pas assez, ce qui dégrade fortement leur qualité (Doymaz, 2004).

Certains scientifiques travaillent sur des méthodes de prétraitement ou la modélisation du séchage pour améliorer la qualité des produits. En raison des inconvénients décrits ci-dessus, l'utilisation de séchoirs solaires s'est développée pour remplacer le séchage au soleil (Doymaz, 2004).

1.2. Séchage solaire

Les séchoirs solaires peuvent être classifiés en séchoirs solaires directs, indirects et hybrides. Le principe de fonctionnement des séchoirs dépend de la méthode de collecte de l'énergie solaire et de sa conversion en énergie thermique utile pour le séchage. Un séchoir solaire améliore le séchage au soleil traditionnel de quatre façons principales (Dadda et al, 2008) :

- Le séchoir solaire est plus rapide, les aliments peuvent être séchés dans une période de temps plus courte. Il améliore le temps de séchage par utilisation d'un vitrage translucide ou transparent dans la zone de collecte du rayonnement solaire qui emprisonne la chaleur à l'intérieur du séchoir, en élevant la température de l'air ;

- Il est plus efficace : les aliments sont séchés plus rapidement et les risques de détérioration sont ainsi diminués ;
- La qualité nutritionnelle est améliorée. Dans les conditions optimales, le séchage solaire permet de conserver une grande partie de la valeur nutritive du pollen telle que la vitamine C ;
- L'énergie solaire est disponible et gratuite donc il reste bon marché.



Figure 20 : une pilote de séchage solaire (Energypedia, 2021).

1.3. Séchage industriel

Egalement appelé séchage forcé, il s'effectue par une circulation permanente d'air sec ou réchauffement de l'air de manière artificielle (onde infra rouge ou tout type de chauffage de l'air).

Au niveau industriel le séchage se fait à des très grandes quantités et à l'aide des machines sophistiquées, chaque industrie selon la qualité et la quantité de sa matière première et également le coût de production choisit une des technologies de séchage :

1.3.1. Séchage dans les étuves

Ce séchoir fonctionne à l'air forcé qui est préalablement déshumidifié, puis chauffé avant d'être introduit dans l'appareil. Le pollen se répartit sur des tamis ou des tiroirs en couche mince pour faciliter le passage et l'homogénéisation de la chaleur sur tous les grains. La température de séchage est réglée entre 40°C et 45°C pendant environ 24 heures et le temps de séchage doit être le plus court possible afin d'éviter les pertes des constituants volatils, plus l'air est sec plus le séchage est rapide. A 40% d'humidité relative, le séchage se fait rapidement. L'humidité du pollen après le séchage ne doit pas dépasser 6%. Le matériel

en contact avec le pollen ainsi que le dispositif de conditionnement d'air doivent résister aux acides (Levac et Marceau, 1991 ; Bruneau, 2012).

Le processus opératoire, l'équipement simple et à coût peu élevé de cette technique présentent son avantage. Par contre l'opération pourrait facilement aboutir à un retrait considérable du produit (principalement au début de l'opération) et à une perte notable de la qualité nutritionnelle (en fin de l'opération en raison du temps de séchage généralement important) (Nguyen, 2015).



Figure 21 : séchoir à pollen (Thomas Apiculture, 2021).

1.3.2. Technique de séchage à chariots à claies

Le principe de cette technique se fait en deux étapes. En premier, l'air est chauffé à l'aide des faisceaux à la vapeur ou électrique, et mis en circulation par un ventilateur à travers des chariots qui comportent des claies sur lesquelles le pollen humide est réparti en couches minces. En deuxième étape, l'air chargé d'humidité est aspiré hors de la chambre de séchage, au travers de condenseurs qui l'assèchent, puis est renvoyé par un système de ventilation forcé, pour une nouvelle utilisation (Jouve, 2007).

La configuration des claies est en fonction du dimensionnement du séchoir et notamment par rapport à la vitesse de l'air. Un dimensionnement de l'ordre de $0,8 \text{ m}^2$ par claie est recommandé pour une meilleure homogénéité du séchage. En tout état de cause, les claies ne devront pas dépasser $1,5 \text{ m}^2$ pour des questions de manipulation et de durabilité. Si le support couramment utilisé est en bois, il doit être de bonne qualité et traité pour éviter son gauchissement (déformation) en milieu humide. La propreté des claies est un facteur d'hygiène et l'emploi d'une toile amovible permet un nettoyage fréquent sans altérer le support (CETIAT, 2017).

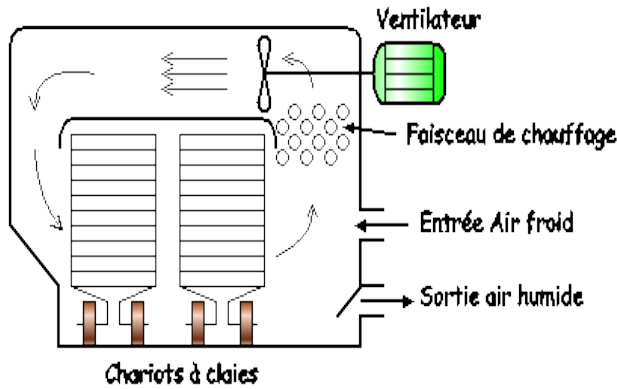


Figure 22 : principe de fonctionnement d'un système de séchage à chariots à claies (Jouve, 2017).



Figure 23 : chambre à séchage à chariots à claies (Meot *et al*, 2021).

❖ **Les avantages de cette technique sont (CETIAT, 2017)**

- Le produit est séché rapidement et non pollué par l'environnement ;
- Débit de 15 à 20 kg/h de produit sec (séchage de 35% à 10 %) ;
- Bonne efficacité énergétique en régime permanent (> à 60 %) ;
- Faible encombrement au sol (3 m²) adapté aux entreprises urbaines.

1.3.3. Technique de séchage à tambour rotatif

Le sécheur à tambour rotatif est un sécheur de type cascade, à chauffe directe par air chaud à passage unique, qui sèche les boues pour donner des solides secs à 90 ou 95 %. L'aliment est délicatement séché au moment où il traverse le flux d'air chaud en cascade (Harald, 2021). Le principe de cette technique est d'alimenter une bande rotative sans fin avec du pollen humide et l'alimenter avec de l'air chaud mais à contre-courant. Le tambour dans lequel s'effectue le séchage est légèrement incliné (5°) et en rotation lente, pour assurer le mélange pollen-gaz et également la sortie du pollen sec, l'air utilisé pour le séchage n'est pas étanche (Jouve, 2007).

Le flux d'air chaud est fourni par un brûleur à gaz à mise à feu directe fonctionnant normalement au gaz naturel et au biogaz. Il génère des températures d'entrée élevées pour un chauffage rapide de la surface et une destruction immédiate des pathogènes. Le process permet de maintenir une atmosphère sûre à faible teneur en oxygène à l'intérieur de la boucle du sécheur, la recirculation des gaz de process chauds grâce à un échangeur thermique unique à condensation indirecte permet de réduire la consommation d'énergie thermique, et de minimiser le retraitement des effluents dans les STEU (Station de Traitement des Eaux

Usées), ainsi le volume d'effluents gazeux envoyés vers le système d'élimination des odeurs (CETIAT, 2017 ; Harald, 2021).

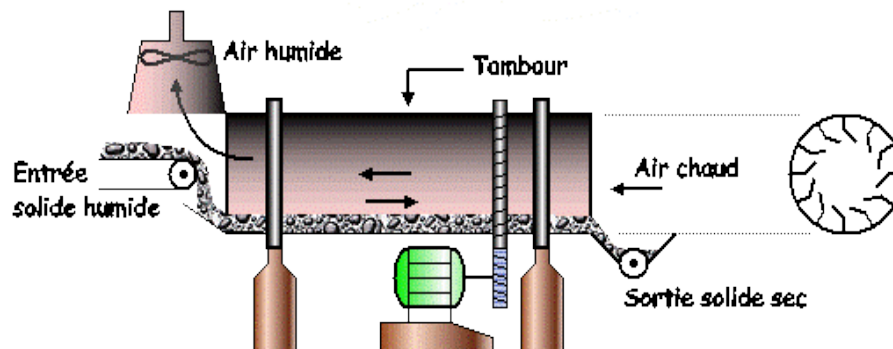


Figure 24 : principe de fonctionnement d'un système de séchage à tambour rotatif (Jouve, 2007).

Il est possible d'utiliser un certain nombre de combustibles tels que le gaz naturel ; le gaz de synthèse ; le méthane ; le GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) ; le pétrole ; le charbon ou le biogaz. Le sécheur peut également être fourni avec des systèmes de chauffage indirect utilisant de la chaleur résiduelle comme les gaz d'échappement des turbines par exemple (Harald, 2021).

Le système de séchage est prévu pour être un système complet comprenant les dernières améliorations en matière de sécurité, conformément aux réglementations NFPA/ATEX (National Fire Protection Association/Atmosphere Explosive). Il est également équipé d'un système sophistiqué de contrôle de process pour le respect des règles de sécurité et pour pouvoir procéder à des opérations de nuit sans surveillance nécessaire (Harald, 2021).



Figure 25 : sécheur à tambour rotatif (Harald, 2021).

❖ **Les avantages de cette technique sont (CETIAT, 2017)**

- Économie d'énergie (0,6-0,7 kWh/kg d'eau évaporée sans récupération énergétique) ;
- Possibilité de récupération énergétique de la vapeur issue du produit sur le séchoir lui-même ou en dehors du séchoir (turbo alternateur, chaudières...) ;
- Récupération des solvants volatils et/ou des mauvaises odeurs ;
- Elimination des risques de feu et d'explosions ;
- Amélioration possible de la qualité du produit (couleur, porosité, rétention d'arôme, solidité, stérilisation, digestibilité, absence de durcissement superficiel pour les produits visqueux ou collants...).

❖ **Les inconvénients de cette technique sont (CETIAT, 2017)**

- Difficulté à traiter certains produits thermosensibles ;
- coût plus élevé de l'équipement (nécessité d'être conforme aux règles de sécurité pour les systèmes HP, dispositifs d'entrée et de sortie du produit étanches à la vapeur).

1.3.4. Technique de séchage à convection tunnel

Le principe de cette technique est basé sur l'alimentation d'une bande transporteuse avec de pollen humide par une vanne rotative à écluses. L'air chaud circule à contre-courant du pollen dans un tunnel formé en général par des caissons de section rectangulaire (Jouve, 2007).

Tableau II : bilan de l'air humide et de l'aliment au cours d'un séchage à convection tunnel (Jouve, 2005).

Sécheur par convection			
Air		Solide	
Débit d'air humide entrant	$V \times (1 + Y_e) = 2.5 \text{ kg.s}^{-1}$	Débit de solide humide entrant	$M \times (1 + X_e) = 0.075 \text{ kg.s}^{-1}$
Humidité absolue air entrant	$Y_e = 0.0144$	Humidité absolue solide entrant	$X_e = 0.92$
Température avant préchauffeur	$T_{ae} = 20^\circ\text{C}$	Température entrée	$T_{se} = 22^\circ\text{C}$
Température après préchauffeur	$T'_{ae} = 65^\circ\text{C}$	Température sortie	$T_{ss} = 22^\circ\text{C}$
		Humidité absolue solide sortant	$X_s = 0.05$

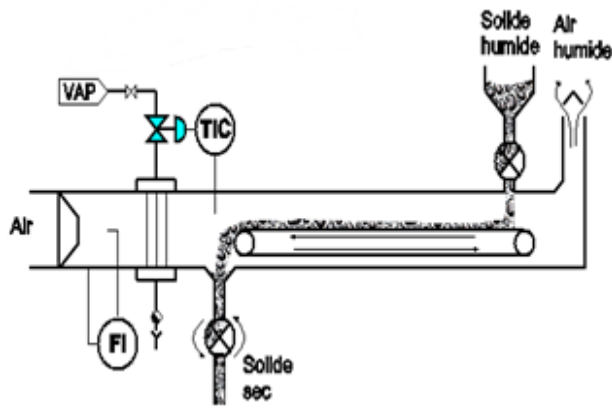


Figure 26 : principe de fonctionnement d'un système de séchage à convection tunnel (Jouve, 2007).



Figure 27 : sécheur à convection tunnel (<https://www.directindustry.fr>, 2021).

1.3.5. Lyophilisation

La lyophilisation (cryodessiccation) est un procédé de conservation par dessiccation sous vide de produits congelés, la perte en eau est principalement obtenue en sublimant la glace sous pression réduite il y a alors passage direct de l'état solide à l'état gazeux. Un cycle de lyophilisation se divise en trois étapes (Bénard, 1973) :

- **la congélation** : où le pollen est réfrigéré à des températures comprise entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. La congélation peut-être réalisée en dehors du lyophilisateur (c'est le cas de nombreuses applications industrielles).
- **la dessiccation primaire** : est réalisée sous vide. C'est l'étape pendant laquelle une partie de l'eau congelée se sublime (pas d'eau en phase liquide).
- **la dessiccation secondaire** : permet d'extraire par désorption les molécules d'eau. Durant cette phase, les produits peuvent être chauffés jusqu'à des températures positives.

À la fin du cycle, le produit ne contient plus que 1% à 5% d'eau, ce qui est extrêmement faible. Si l'activité de l'eau est inférieure à 0,4 et supérieure à 0,2, elle assure souvent une bonne préservation de la matière.

❖ Les avantages de la technique (Nguyen, 2015)

- Préservation de la structure initiale du produit ;
- Conservation du produit pendant plusieurs années sous vide et dans un emballage opaque sans perte de vitamines, sans modification des caractéristiques organoleptiques (valeur nutritive pratiquement identique au produit frais à la congélation) ;
- Conservation à température ambiante ;

❖ **Les inconvénients de la technique (Nguyen, 2015)**

- Méthode coûteuse: frais d'investissement et d'exploitation élevés à cause de la forte consommation d'énergie ;
- Nécessité d'un emballage étanche car le produit est très hydrophile.

1.3.6. Séchage par la détente instantanée contrôlée (DIC)

Le « Swell-drying » est une nouvelle technique de séchage qui a été défini comme un couplage du séchage par air chaud et une texturation par DIC (Détente Instantanée Contrôlée). Elle permet de traiter une large gamme de produits, malgré leur éventuelle fragilité thermique, améliorant considérablement la vitesse de séchage et la qualité du produit (Mounir et al, 2012). Ainsi, le produit fini a un contenu en vitamines supérieur aux produits séchés classiquement, sans pour autant atteindre le niveau d'un produit lyophilisé. Cependant, la DIC permet une préservation de la couleur, une disponibilité des flavonoïdes (Mounir et al, 2011), et une activité antioxydante élevée. En plus, la DIC assure, à travers une décontamination microbiologique partielle et une complète désinsectisation, une augmentation de la durée de vie des produits (Allaf et al, 2012).

➤ **Principe de la technique DIC**

La DIC est un traitement de type HTST (High Temperature Short Time) qui consiste à faire subir, à un produit partiellement humide (en général d'humidité voisine de 30% base sèche), les conditions suivantes : une pression de vapeur ($P < 10$ bars) à haute température (inférieure à 180 °C) durant une courte durée (inférieure à la minute) suivie d'une chute abrupte de pression vers le vide (3 - 5 kPa, Δt de 20-200 ms). Cette chute de pression est caractérisée par une très grande vitesse ($\Delta P / \Delta t > 2,5.10^5$ Pa s⁻¹).



Figure 28 : Représentation schématique du réacteur DIC (Nguyen, 2015).

[1] Chambre de traitement; [2] valve de détente abrupte; [3] Réservoir à vide; [4] Pompe à vide; [5] Chaudière.

La DIC comporte généralement les principales étapes suivantes :

- **Mise sous vide:** Il s'agit de connecter l'enceinte au système de pompage sans pour autant chercher à ce que cette mise sous vide ne soit impérativement instantanée. Le pompage direct de l'enceinte de traitement est alors moins coûteux en énergie mécanique qu'une ouverture de la vanne de connexion avec le réservoir à vide.
- **Injection de la vapeur:** Instauration d'une pression de vapeur d'eau, pour assurer en quelques secondes une température maîtrisée du produit ($T < 200\text{ °C}$, $P < 2\text{ MPa}$) maintenue durant quelques secondes ou dizaines de secondes.
- **Détente instantanée vers le vide :** Instauration d'un passage ultra-rapide ($< 100\text{ ms}$), du système vers le vide. Ce passage réalisé en quelques millièmes ou centièmes de seconde assure un refroidissement du produit qui perd par auto vaporisation une partie de son eau; l'induction éventuelle d'un « soufflage » parfaitement maîtrisé (expansion) du produit est alors possible.
- **Remise à la pression atmosphérique :** Cette étape peut être utilisée pour assurer un refroidissement encore plus intensifié de la matière à travers un flux fin d'air extérieur dont la détente (instantanée) ainsi réalisée permet sa propre chute de température; le flux d'air implique le refroidissement de la surface de la matière par contact et par évaporation éventuelle d'une quantité supplémentaire résiduelle d'eau du produit.

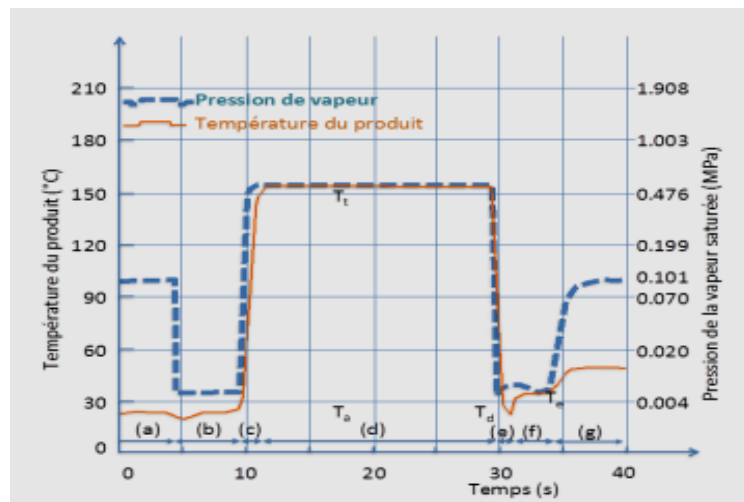


Figure 29 : Évolution de la température et de la pression lors d'un traitement DIC (Albitar, 2010).

❖ Avantages de la DIC

C'est un procédé compatible avec l'agriculture biologique et respectueux de l'environnement. Il permet aussi de limiter la consommation en énergie (au contraire des

procédés conventionnels). De plus, il permet d'éviter l'utilisation de conservateurs ou de substances favorisant le séchage de sorte que le produit final soit naturel et sain. Les produits résultants sont conformes avec aux normes sanitaires (Nguyen, 2015).

C'est actuellement le seul procédé capable d'obtenir des produits croustillants naturels et sains sans additifs. En de nombreux points (qualité et coût) le procédé DIC se révèle meilleur que les procédés conventionnels de séchage (Tableau). Ainsi, la DIC a pu résoudre certains problèmes liés au séchage classique, à savoir (Albitar, 2010) :

✓ **Au plan des attributs du produit fini**

- Réduire les risques d'altération de la forme ;
- Améliorer les propriétés texturales en remédiant aux problèmes de dégradation de la structure ;
- Éliminer les risques de contamination microbiologique, bactérienne et/ou par des insectes,
- Diminuer considérablement les pertes des qualités nutritionnelles.

✓ **Au plan de la performance du procédé**

- Réduire les besoins énergétiques ;
- Améliorer le rendement énergétique généralement particulièrement faible lors de la dernière étape de l'opération ;
- Intensifier considérablement la cinétique de l'opération.

Tableau III : Analyse comparative en termes de performances des procédés de séchage et de qualité du produit fini (Allaf et al, 2012)

	Air chaud	Micro-ondes	Lyophilisation	Swell-drying
Forme /texture	Compacte	Moyenne capacité	Forme préservée	Expansion contrôlée
Préservation de goût , arôme et couleur.	1 ^{ère} étape : bonne puis dégradation globale.	Niveau moyen	Relativement bonne	Très bonne
Préservation nutritionnelle.	1 ^{ère} étape : bonne puis dégradation globale.	Bonne	Très bonne	Bonne /très bonne
Contenu hygiénique	Mauvais	Moyen	Mauvais	Très bonne
Rétention d'eau, d'huile	Moyenne	Assez bonne	Assez bonne	Très bonne
Énergie (KWh/tonne matière sèche).	8.000	7.600	13.700	1 ^{ère} étape : 5.000 DIC : 800 3 ^{ème} étape : 1.700

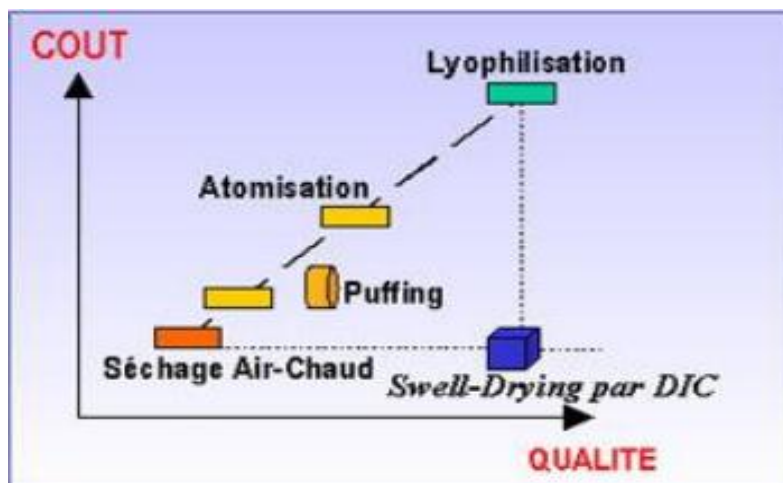


Figure 30: Comparaison de la qualité et du coût des technologies de séchage (Nguyen, 2015).

1.4. Avantages et inconvénients de séchage (Gauthier, 2014)

1.4.1. Les avantages du séchage

Les principaux avantages du procédé de séchage sont :

- La simplicité de la méthode avec généralement un bon rendement ;
- L'universalité du procédé, accessible à tous, y compris pour les particuliers ;
- Une durée de conservation des aliments déshydratés qui peut être de plusieurs mois ;
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments ;
- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité d'eau ;
- Sa capacité à être utilisée à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes ;
- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction massique.

1.4.2. Les inconvénients du séchage

Comme tous les traitements thermiques, le séchage peut entraîner en particulier des pertes d'arômes ; de vitamines et de pigments ; des réactions de brunissement ; des durcissements superficiels ; des modifications irréversibles de texture et donc de capacité à la réhydratation ; également des pertes de constituants volatils et la modification de la répartition de l'humidité dans le produit. En général, le séchage a globalement moins d'inconvénients que

d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage de pollen reste encore une méthode très répandue de conservation de ces aliments.

1.5. Les paramètres influençant la cinétique de séchages

L'opération de séchage doit être considérée comme un ensemble de processus d'échange établi entre le corps à sécher et le milieu extérieur. Il est tout évident que le taux de séchage est d'autant plus important qu'on arrive à assurer une concentration (pression partielle) de l'eau à la surface du produit plus élevée et que l'on maintienne une humidité relative de l'air en tant que fluide de séchage plus faible. L'évaporation de l'eau à la surface vers l'environnement dépend de toute évidence des caractéristiques de l'air (vitesse, température et humidité) (Albitar, 2010).

Des études ont prouvé que plus la concentration de vapeur à la surface est élevée, plus le taux de séchage est important. Cependant, elles ont montré l'effet négatif de la haute température sur la qualité du produit fini, et également que le taux du séchage augmente avec l'augmentation de la vitesse de l'air. D'autres divers travaux ont pu étudier de nombreux facteurs qui influent sur le séchage :

➤ **la nature du produit** : la sensibilité à la chaleur, la composition et la teneur initiale en humidité de l'aliment, mais également sa forme a un impact important sur la cinétique de séchage.

➤ **les caractéristiques de l'air**

- **la température de l'air**

La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air. Les chercheurs ont constaté que le temps de séchage diminuait avec l'augmentation de la température de séchage (Lahmari, 2012).

- **l'humidité de l'air**

Des études ont montré que la diminution de l'humidité relative entraîne une diminution du temps de séchage et une accélération du processus de séchage (Nguyen, 2015).

- **la vitesse d'air**

La vitesse d'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par la migration interne de l'eau, l'influence de la vitesse d'air devient très faible. Les résultats des

auteurs peuvent être classés en trois groupes selon la description qu'ils font de l'influence de la vitesse de l'air sur la cinétique de séchage (Nguyen, 2015) :

- Le premier groupe indique que l'influence de la vitesse d'air sur la cinétique de séchage est très faible.
- Le deuxième groupe constate que la vitesse d'air influence la vitesse de séchage: quand on augmente la vitesse, le temps de séchage est diminué et la vitesse de séchage est augmentée.
- Le troisième groupe constate également que la vitesse d'air influence la vitesse de séchage. Cependant, la vitesse d'air atteint une valeur limite (en fonction du produit à sécher) au-delà de laquelle il n'y a plus d'influence sur le temps de séchage.

➤ **La différence de pression** : la différence entre la pression partielle de vapeur entre la surface du produit et l'air environnant joue un rôle important dans la cinétique de séchage.

1.6. L'effet de séchage sur la qualité du pollen d'abeille

La qualité des aliments séchés dépend de la méthode de séchage adoptée ; des conditions opératoires ; de la nature et de la qualité de la matière première. Les conditions et la durée de stockage ont également un impact non négligeable. La qualité des aliments séchés est souvent estimée à travers leur texture et leur capacité de réhydratation. Cependant, la dégradation de la composition chimique et les pertes de couleur ; de saveur et d'arôme doivent soigneusement être contrôlées pour garantir un minimum d'impact sur la qualité du produit.

Ces phénomènes de dégradation, normalement associés à une surchauffe se limitent dans un premier temps à un simple changement de couleur du produit. Toutefois, à une étape plus avancée sont également affectés le goût ; la capacité de réhydratation et les qualités organoleptiques. Normalement, l'effet du séchage sur la valeur nutritionnelle des aliments est tout naturellement dû au couple temps - température du traitement. Les dommages thermiques se traduisent principalement par des dégradations nutritionnelles, biochimiques etc. Dans de nombreuses opérations, le niveau de température du produit en début de l'opération est nettement inférieur à celle de l'air proprement dite du fait de la grande évaporation. Ce n'est qu'au cours de l'étape finale que les principales dégradations d'origine thermique interviennent. Dans le cas des MO (Micro-onde), la dégradation thermique peut intervenir dès le démarrage de l'opération en raison du mode de chauffage (volumique) : la première étape de séchage est nettement plus avantageuse quand elle est réalisée par air chaud que par MO.

L'absence de régulation intrinsèque du chauffage par MO au cours de cette étape empire encore plus ces effets (Albitar, 2010).

2. La conservation par le froid (la congélation)

La congélation constitue une alternative au séchage, dans ce cas les services d'hygiène ne considèrent plus qu'il y ait transformation du produit (Bruneau, 2012). La congélation ne nécessite pas de séchage, mais on doit tout de même nettoyer le pollen. Afin de ne pas abîmer les pelotes, on les triera à l'état congelé (Tremblay, 2016). Le principe de la congélation est d'abaisser la température du pollen à environ -18°C de façon à faire passer à l'état solide l'eau qu'il contient. Cette cristallisation de l'eau contenue dans les grains permet de réduire l'eau disponible pour des réactions biologiques et donc de ralentir ou d'arrêter l'activité microbienne et enzymatique (DGCCRF, 2019).

Dans le cas où le nettoyage n'as pas été bien effectué, La congélation à une température inférieure à -10°C est une excellente technique pour tuer toutes formes des fausses teignes (adultes, larves et œufs)

Le pollen supporté) la décongélation quelques heures et peut ensuite être recongelé sans risque si sa teneur en humidité est faible (8 % d'eau), mais certains pollen possèdent parfois beaucoup plus (20 % d'eau), surtout s'ils sont restés trop longtemps dans les trappes, le pollen une fois dégelé se conserve environ une semaine au réfrigérateur (Gauthier, 2014).

❖ Avantages de cette technique (Tremblay, 2016)

- Permet la conservation optimale des propriétés nutritionnelles du pollen ;
- Permet le maintien de la qualité sensorielles (la couleur et la saveur...), elle est considérée la meilleure technique de conserver les propriétés anti-oxydantes ;
- La congélation est une technique simple qui prend généralement moins de temps et consomme moins d'énergie que le séchage ;
- Contrairement au pollen sec, le pollen congelé ne subit aucune transformation ;
- Un pollen congelé possède une meilleure absorption et une meilleure digestibilité que celui séché.

❖ Les inconvénients de cette technique (Gauthier, 2014)

- La congélation n'est pas la bonne technique de conservation à choisir dans le cas d'un pollen très riche en humidité car elle provoque l'éclatement des cellules et donc la perte de quelques nutriments contenus dans ces dernières et même la perte de sont aspect ;

- La congélation n'améliore pas la qualité du pollen mais elle la maintient telle qu'elle est ;
- La congélation du pollen nécessite des conditions et des températures particulières à respecter pendant son transport et son stockage.

3. La conservation de pollen par le conditionnement sous vide

Le conditionnement sous vide est une technique de conservation de longue durée associée au froid. Elle consiste à placer un produit dans une enveloppe souple et à réaliser le vide autour de celui-ci à l'aide d'une machine adaptée. L'enveloppe se plaque sur le produit jusqu'à en épouser étroitement les formes, cette enveloppe est imperméable aux gaz et empêche toute pénétration ultérieure d'air, ce qui prive les bactéries aérobies d'oxygène et bloque ainsi leurs développement. Un produit sous vide se conservera en moyenne 3 fois plus longtemps qu'un produit à l'air libre

3.1. Les précautions sanitaires lors d'un conditionnement sous vide

L'absence d'oxygène ne signifie pas qu'aucune bactérie pathogène ne peut se développer. Des bactéries anaérobies (qui se développent sans oxygène), comme *Clostridium Botulinum* ou *Clostridium Perfringens* sont fortement pathogènes, dans un conditionnement sous vide, elles sont donc dans un milieu qui leur est favorable. Donc il est primordial de mettre en œuvre les mesures préventives suivantes (**Sauvage, 2015**) :

- Respecter parfaitement la chaîne du froid pendant le conditionnement et pendant la conservation du produit ;
- Mettre en œuvre une bonne hygiène générale des locaux et du matériel de manière à avoir une charge microbienne initiale la plus faible possible la machine sous vide doit être installée dans une pièce où la température est inférieure à 12°C ;
- La température du produit au moment de sa mise sous vide doit être inférieure à 6°C avec une faible pression l'eau bout à 10°C ce qui génère du jus dans les sacs ;
- Appliquer un bon protocole de nettoyage et de désinfection sur la conditionneuse ;
- Bien suivre la maintenance de la conditionneuse, vidange, filtre à air, filtre à huile une fois par an ;
- Faire valider les dates Limites de Conservation.

Le succès du conditionnement sous vide dépend d'un nombre de facteurs ayant trait à l'efficacité et à la fiabilité de la machine de conditionnement ; les matériaux d'emballage utilisés ainsi que les caractéristiques de l'aliment qui sera conditionné c'est le cas des

produits granulaires et poreux tel que le pollen. A cause de leur structure, ces aliments contiennent et retiennent une faible quantité d'air dans les espaces entre deux particules ou pores. Pour procéder efficacement à l'évacuation de leur emballage, il peut être nécessaire de prolonger la durée du conditionnement ou d'arranger les produits de façon à faciliter l'extraction d'air (**Bureau et Multon, 1989**).

Lorsqu'un produit humide tel que le pollen frais contenant de l'eau libre, est conditionné sous vide, il n'est jamais possible d'atteindre une très basse pression sous vide car l'évacuation du conteneur conduit à l'évaporation d'une petite partie de l'eau contenue. La vapeur ainsi libérée détient sa propre pression (pression de vapeur) pouvant varier selon la température. Ce phénomène naturel n'entrave pas l'efficacité du conditionnement sous vide. L'air peut être entièrement extrait malgré une valeur absolue de pression peu élevée (niveau de mercure allant jusqu'à 20-30 mm) et un faible niveau de vide. La pression résiduelle est due exclusivement à la pression de la vapeur relâchée pendant l'extraction de l'air (et donc de tout l'oxygène qu'il contient) (**Sauvage, 2015**).

❖ Les avantages du conditionnement sous vide

- Éviter les contaminations lors du stockage des produits ;
- Augmenter la durée de vie des produits ;
- Éviter les altérations par l'oxygène en particulier en congélation ;
- Praticité pour le consommateur (exemple : sacs pique nique) ;
- Permet d'éviter les pertes d'eau par évaporation et bloquer le séchage ;
- Pas de problème d'odeur lors du transport notamment (**Sauvage, 2018**).

4. La conservation par le conditionnement sous atmosphère modifié

Le conditionnement sous atmosphère modifiée présente de nombreuses prérogatives en relation avec le conditionnement sous vide. Premièrement il peut être considéré comme une technologie plus délicate car l'aliment ne subit pas de pression lors de l'évacuation de l'air. Une extraction violente et rapide de l'atmosphère peut enlever les substances volatiles utiles et importantes pour la conservation de la saveur du produit. Cela peut également causer l'évaporation d'une partie de l'humidité, ce qui amène les graisses à la surface du produit (**Floros et Matsos, 2005**).

Le conditionnement sous atmosphère modifiée devrait également être considéré comme une technologie plus puissante. En effet, cette technologie n'est pas limitée à une

simple élimination de l'air pouvant endommager l'aliment de l'emballage, elle introduit aussi des éléments (gaz) qui combattent activement le dépérissement qualitatif du produit.

Les possibilités de formulation de l'atmosphère sont si nombreuses et variées qu'il est possible de paramétrer un mélange de gaz spécifique et efficace pour chaque produit/système d'emballage (Leshuk et Saltveit, 1990).

4.1. Le choix de l'atmosphère

C'est certainement le choix le plus difficile à réaliser lorsqu'il s'agit de décider de l'emballage de produits périssables sous atmosphère modifiée. Dans le secteur de la technologie alimentaire, les applications sont nombreuses et il est toujours conseillé d'avoir un équipement adéquat. Il est nécessaire d'essayer différents mélanges de gaz en évaluant la saveur et l'hygiène du conditionnement en fonction de la durée. Une approche efficace peut être de commencer par les plus hauts pourcentages de dioxyde de carbone (50-60%) puis de diminuer progressivement jusqu'à un minimum de 10-15% avec des tests rigoureux et réguliers afin de trouver la meilleure solution pour chaque système de conditionnement, de nourriture ou d'atmosphère (Luis et Krochta, 2005).

4.2. Durées de conservation

Il existe de nombreux facteurs qui influencent l'augmentation ou la baisse des durées de conservation. Les principaux facteurs sont listés ci-dessous (Gross et al, 2016).

- La nature du produit, sa fraîcheur et sa température au moment de l'emballage ;
- L'hygiène au sein de l'usine de traitement des aliments et les instruments utilisés ;
- Les étapes réalisées pour garder le produit réfrigéré jusqu'au moment de sa consommation (conditionnement et stockage dans l'usine de traitement des aliments, le transport, les caisses de présentation sur le point de vente etc.) ;
- La qualité du matériel utilisé pour l'emballage (Poches, barquettes et films) ;
- La précision de la machine de conditionnement pour atteindre le niveau de vide et la quantité d'atmosphère nécessaire pour le pollen d'abeille et chaque emballage ;
- La qualité de scellage de l'emballage.

❖ Les avantages des atmosphères modifiées (Kervin, 2005)

- **Durée de vie allongée et une meilleure qualité**

Les aliments emballés sous une atmosphère protectrice se détériorent beaucoup plus lentement. Combiné au refroidissement continu, l'emballage sous atmosphère modifiée peut considérablement prolonger la fraîcheur et la durée de conservation du pollen. Cet effet varie selon le type de produit. Cependant, un doublement de la durée de conservation est

habituellement possible. Normalement, les produits MAP (Modified Atmosphere Packaging) gardent une qualité élevée sur une plus longue période et arrivent au consommateur dans les meilleures conditions possibles.

- **Plus de potentiels de ventes**

En raison de la plus longue durée de conservation, l'emballage sous atmosphère modifiée ouvre souvent de nouveaux marchés géographiques aux fabricants. En particulier pour les marchandises périssables tel que le pollen, des distances d'expédition plus longues peuvent être réalisées. Un marché mondial peut devenir réalité.

- **Moins de conservateurs**

L'emballage sous atmosphère protectrice prolonge la durée de conservation des pollens, ce qui permet de réduire ou même d'arrêter complètement l'utilisation des conservateurs. Les consommateurs obtiennent un pollen qui ne contient pas d'additifs artificiels.

- **Amélioration du visuel**

Outre les aspects fonctionnels, la conception de l'emballage joue un rôle important dans la captation des consommateurs. L'aspect et l'impression de qualité influent sur le comportement d'achat. L'emballage sous atmosphère modifiée est très bien adapté pour rendre le design de l'emballage plus attrayant et pour la présentation du pollen.

- ❖ **Limitations des emballages à atmosphères modifiées (Kervin, 2005)**

- **Complexité relativement élevée**

Le procédé d'emballage sous atmosphère modifiée impose des exigences relativement élevées pour éviter quelques défaillances possibles telles que la mauvaise composition des gaz ou fuites en raison d'une mauvaise répartition de la température ou de la pression ; des outils contaminés ou usés, contamination du joint ou matériaux défectueux. Cependant, avec la technologie MAP moderne et l'assurance qualité complète, les risques peuvent certainement être maîtrisés.

- **Coût relativement élevé**

En plus des films de haute qualité, la consommation de gaz et les coûts de personnel pour le contrôle de la qualité sont particulièrement élevés. Cependant, ces coûts peuvent être minimisés grâce à l'utilisation efficace des ressources.

- **Influence sur la qualité des pollens**

Contrairement à l'utilisation de conservateurs, dans la plupart des cas les gaz protecteurs ne sont pas absorbés par le pollen et ne modifient donc pas la nature ou le goût du

produit. Mais il y a des exceptions à cette règle. Par exemple, une concentration excessivement élevée de CO₂ peut être absorbée par les aliments et les rendre acides. Cependant, ces effets peuvent être évités avec des mélanges de gaz adaptés.

5. Les extraits de pollen

Le pollen est placé dans une solution d'éthanol, on obtient un extrait alcoolique que l'on sépare du pollen résiduel solide. Ce résidu subit une deuxième extraction dans une seconde solution d'éthanol ce qui produit un second extrait. Les deux extraits sont concentrés sous vide, on obtient une masse fluide visqueuse. L'extraction est douce et n'altère pas les principes actifs qui sont libérés (Apimondia, 2001).

III. Conditionnement, étiquetage et stockage du pollen d'abeille

1. Mise en pots (conditionnement)

Une fois traité, le pollen est conditionné. Les conditions de la mise en pots et également le type d'emballages utilisés dépendent de la technique de conservation utilisée.

- **Le pollen sec**

Le pollen sec est généralement conditionné dans des pots en verre, cette matière est choisie car elle est (Gauthier, 2014) :

- Imperméable aux gaz, vapeurs et liquides. C'est un matériau à barrière exceptionnel donc il empêche les échanges d'humidité entre le pollen et le milieu externe ;
- Chimiquement inerte vis-à-vis des liquides et produits alimentaires et ne pose pas de problème de compatibilité ;
- Un matériau hygiénique et inerte sur le plan bactériologique ; il ne fixe pas et ne favorise pas le développement de bactéries ou microorganismes à sa surface ;
- Facile à laver et à stériliser ;
- Le verre n'a pas d'odeur et ne transmet pas les goûts et ne les modifie pas ; il est le garant des propriétés organoleptiques et de la saveur du pollen ;
- Transparent et permet de contrôler visuellement le pollen ;
- Il peut être coloré et apporter ainsi une protection contre les rayons ultraviolets pouvant nuire au pollen ;
- A une résistance mécanique suffisante pour supporter les chocs sur les chaînes de conditionnement qui travaillent à cadence élevée et pour supporter des empilements verticaux importants pendant le stockage.

- **Le pollen congelé (frais)**

Le pollen frais congelé est conditionné dans des sacs ou des barquettes en plastique HDPE (le polyéthylène haut densité), cette matière convient parfaitement à la congélation car le HDPE possède une faible clarté, une imperméabilité excellente à l'eau, faible à l'oxygène, moyenne au CO₂ et une densité de 0.96 (Tremblay, 2016).

- **Le pollen conditionné sous vides**

L'efficacité du conditionnement sous vide peut être rendue nulle si le choix de la matière de conditionnement est inadéquat. Il est nécessaire de faire attention lors de la sélection du film plastique ou du type de barquette utilisé lors du conditionnement. Les matières en plastiques étant toutes à différents degrés perméables au gaz, le vide de l'emballage a tendance à accélérer le retour d'air de l'environnement. Pour une préservation à long terme des effets du conditionnement sous vide, des matières « barrières » sont nécessaires pour empêcher l'entrée d'oxygène durant le temps requis. Il est important de noter que plus la matière est épaisse, plus la pénétration de l'oxygène sera lente (Proportionnellement), et avec une surface de conditionnement moins grande, la perméabilité au gaz sera proportionnellement plus lente. Enfin, la pénétration de l'oxygène possède différents niveaux de rapidité en fonction de la température : plus celle-ci est basse, plus le phénomène est lent (Sauvage, 2015).

- **Le pollen conditionné sous atmosphère modifiée**

Le succès du conditionnement sous atmosphère modifiée ne repose évidemment pas uniquement sur la définition de l'atmosphère idéale. La sélection de la matière et des techniques de conditionnement sont également très importantes. Toutes les matières flexibles utilisées dans le conditionnement sont perméables aux gaz à des degrés différents. Le maintien de l'atmosphère protectrice à l'intérieur de l'emballage est donc subordonné aux caractéristiques de la matière et à l'efficacité du scellage. De ce point de vue, il est absolument nécessaire d'utiliser des machines de conditionnement adéquates afin d'assurer un remplacement complet de l'air par l'atmosphère choisie, précisément dosée tout en minimisant le résidu d'oxygène dans l'emballage (Luis et Krochta, 2005).

2. Etiquetage

L'étiquetage est une étape primordiale qui identifie le produit final, ce qui permet son acheminement dans les bonnes conditions de producteur jusqu'au consommateur. Donc le producteur doit mentionner sur l'emballage toutes ces informations (Thibault, 2017) :

- Origine florale si le pollen est destiné à la consommation humaine ;
- Teneur en eau ;
- Composition des principaux nutriments : analyse type II (énergie,
- Carbohydrates totaux + sucres simples, lipides totaux + AGS, protéines, fibres, sel) ;
- Origine géographique ;
- Date limite de consommation DLUO (Date limite d'Utilisation Optimale) ;
- Nom du producteur ;
- Numéro de lot.

Pour satisfaire les contrôles des autorités compétentes et également pour une bonne traçabilité des lots, Le producteur doit garder les échantillons de chacun et mentionner les informations suivantes :

- La date de préparation du lot ;
- Le poids net ;
- L'adresse du producteur ;
- La teneur en AGS ;
- D'autres informations peuvent être ajoutées selon la volonté du producteur tel que la composition en vitamines, en polyphénols, en minéraux, ou encore en AA.
- La qualité du produit s'étudie par les méthodes analytiques :
- Examen macroscopique de la couleur, de l'apparence, de l'odeur, du goût et des défauts.
- Examen microscopique.
- Analyse de la composition par la méthode de Karl Fischer pour l'eau, par CPG (Chromatographie en Phase Gazeuse) ou CLHP (Chromatographie en phase Liquide à Haute Performance) pour les carbohydrates et par CPG pour les fibres brutes, les protéines, AA, lipides, minéraux, vitamines et contaminants.

3. Stockage

Le stockage du pollen sec doit se faire dans des conditions bien respecter :

- Les chambres de stockage doivent être sèche et bien ventilées et à l'abri de la lumière ;
- La température du lieu de stockage doit être comprise entre 10°C et 21°C ;
- La hauteur entre le sol et le pollen doit être de 15 cm ;

- La chambre de stockage ne doit pas contenir de produits chimiques et de matériel de nettoyage.

Le pollen congelé doit être maintenu et stocké à une température inférieure ou égale à -18°C. Après la décongélation, il doit être conservé au frigo et consommé rapidement (idéalement dans les 5 jours). Pendant le transport du pollen congelé, il faut éviter la rupture de la chaîne froide pour ne pas altérer sa qualité car une variation de 1°C peut induire une perte de 10% de la durée de vie du produit (**Bruneau, 2015**).

Le conditionnement sous vide est une technique associée au froid. Il est recommandé de conserver les produits sous vide à une température proche de 0°C, pour limiter l'exsudation et améliorer les performances de la technique. L'important est de ne pas dépasser les +2°C. La durée de vie d'un pollen dépend de ses caractéristiques et de ses conditions de conservation, notamment de la température (**Sauvage, 2018**).

Le conditionnement de denrées périssables, notamment sous atmosphère modifiée, ne va pas sans le froid. En effet, la protection mécanique apportée par le conditionnement peut donner l'illusion d'un produit stabilisé pour un temps, quelles que soient les conditions d'ambiance. Il n'en n'est rien, raison pour laquelle la DLC (Date Limite de Consommation) du produit est toujours accompagnée des conditions de conservation à respecter, notamment de température.

IV. La qualité du pollen récolté par les abeilles

A l'échelle mondiale, il n'y a pas de norme internationale officielle de qualité du pollen récolté par les abeilles (**Bogdanov, 2004**). Mais dans certains pays tels que la Bulgarie, le Brésil, la Pologne, l'Argentine et la Suisse, le pollen est standardisé et sa qualité est normalisée (**Almeida-Muradian et al, 2005**).

1. Les critères de qualité du pollen

Les critères qui définissent la qualité du pollen sont :

1.1. Les critères sensoriels

La qualité sensorielle est un ensemble de critères (**Bruneau, 2014**)

- La couleur et l'aspect

La diversité des couleurs du pollen est très importante, on peut trouver certains guides qui décrivent les couleurs des différentes espèces de pollen. Cinq cent soixante-trois couleurs ont ainsi été décrites. La couleur d'une espèce peut varier légèrement et par ailleurs, plusieurs espèces peuvent avoir une couleur similaire. L'important ici est que la couleur annoncée pour

une espèce se retrouve dans la gamme acceptable. C'est généralement sur base de la couleur qu'on va différencier le caractère monofloral d'un pollen. En effet, on peut considérer que 80% des pollens doivent provenir de l'origine indiquée. En cas de pollens multi floraux, c'est la diversité qui va compter. Une exposition du pollen au soleil peut ternir sa couleur, il en va de même d'un séchage trop intense ou d'un mauvais stockage.

- **L'odeur**

L'odeur des pollens est généralement assez intense et c'est principalement cette intensité et sa persistance qui seront jugées. Le spectre des odeurs sera principalement végétal avec parfois des notes florales ou plus particulières. Une amertume importante va pouvoir se détecter à l'odeur. Des odeurs exogènes (fermentation, chimique, fumée...) sont naturellement à proscrire (facteur de rejet de l'échantillon).

- **La texture des grains**

La consistance d'un grain de pollen peut être jugée entre les doigts pour le pollen sec mais c'est en bouche que l'on aura l'information la plus intéressante, ce paramètre a surtout son importance pour les pollens séchés. La technique et la vitesse de séchage vont clairement influencer la consistance du pollen, il faut éviter les pollens trop cristallins. Aujourd'hui, les techniques de séchage permettent de sécher en profondeur les pollens sans provoquer l'apparition d'une coque plus rigide. Pour les pollens surgelés, c'est surtout la cohésion des pelotes qui sera jugée, les pollens trop humides seront donc désavantagés.

- **Le goût**

On peut retrouver les saveurs classiques des miels : sucrée (citron, orange, pamplemousse etc.), acide (hélianthème...), amère (crucifères...) et comme pour le miel, le salé n'est pas présent dans le pollen, par contre la sensation astringente peut être présente. L'amertume des pollens est généralement plus important que celle des miels. Certains pollens se caractérisent d'ailleurs par une amertume particulièrement intense, l'intensité des pollens varie fortement en fonction des origines florales. Elle devra correspondre à l'origine annoncée pour un pollen monofloral et devra plutôt être équilibrée et si possible pas trop amère pour les pollens multi floraux. L'intensité de ces derniers sera moyenne à forte.

- **L'arôme**

Le spectre des arômes des miels sera principalement dans le végétal (pollen) mais on peut trouver une palette très large correspondant pratiquement à ce qu'on peut observer dans la roue des arômes. Cette roue peut servir de base à la caractérisation des pollens dans un premier temps avant qu'on ne développe une roue spécifique.

- La propreté

L'opération de tri du pollen reste toujours délicate et est souvent un des points critiques dans le conditionnement. Le critère de propreté sera très important, et des éléments exogènes tels que pattes, ailes, gravier, momies de couvain plâtré... seront des éléments d'exclusion. Il en va de même de toute trace de moisissure ou de la présence d'acariens du pollen. Les poussières sont inévitables dans le pollen surgelé mais leur quantité doit rester aussi faible que possible. Cela est encore plus valable pour les pollens séchés, le taux d'impuretés dans le pollen doit être inférieur à 0.5%.

- La dimension des grains

La taille des pelotes de pollen pourra varier fortement en fonction des conditions de récolte et des abeilles. L'idéal est d'avoir des lots de pollens avec des tailles régulières et relativement importantes de 2 à 5 mm.

Tableau IV : table de jugement de la qualité sensorielle d'un pollen frais (Bruneau, 2014).

Étapes de dégustation	Les critères	[+] qualité recherchée. [-] défauts à éviter. [R] pollen à disqualifier.	Points
1	Visuel et l'aspect	[+] Propreté irréprochable. [-] Poussières (surtout pour pollen sec). [R] Impuretés (végétaux, pattes, ailes, moisissure, minéraux...).	0 - 2 pts
		[+] Couleur spécifique si monofloral. [+] Belle diversité de couleur si polyfloral. [-] Couleur hors gamme, passée ou terne. [+] Grains de belle taille (2-5). [-] Autres taille.	0 - 4 pts
			0 - 2 pts
2	L'odeur	[+] Typicité végétale et/ou florale, intensité. [-] Odeur désagréable, sans odeur. [R] Odeur exogènes (solvants, fumées, fermentation...).	0 - 4 pts
3	La texture des grains	[+] Structure consistante. [-] Structure trop cristalline (pour pollen séchés). [R] Structure sans consistance.	0 - 2 pts
4	Le goût	[+] Intensité moyenne à forte, bon équilibre. [+] Typicité si monofloral. [-] Faible intensité, déséquilibre, manque de typicité. [R] Gout exogène (métallique...).	0 - 3 pts
5	L'arôme	[+] Richesse, harmonie, originalité, finesse. [+] Typicité si monofloral. [-] Manque de typicité, d'harmonie. [R] Arome exogène (fumée, fermentation,...).	0 - 3 pts
Total des points obtenus.			20 points

1.2. Critère microbiologique et hygiénique

La qualité microbiologique et hygiénique est le facteur primordial de la qualité du pollen d'abeille. Le pollen destiné à la consommation humaine doit respecter les normes fixées par la réglementation Européenne pour l'absence totale de certains germes pathogènes et pour les limites de présence autorisées pour d'autres citées dans le tableau ci-dessous (Thibault, 2017).

Tableau V : normes des germes pathogènes dans le pollen (Campos et al, 2008).

Les germes	Nombre des germes autorisés
Salmonella	Absent /10g
Staphylococcus aureus	Absent /1g
Enterobacteriaceae	Max 100/g
Escherichia Coli	Absent /g
Germes aérobies totaux	<100 000 /g
Levures et moisissures	<50 000 /g

Les limites des métaux lourds autorisés doivent être inférieures aux teneurs maximales suivantes (Thibault, 2017) :

- Cadmium (Cd) : 0,03 mg/kg.
- Plomb (Pb) : 0,5 mg/kg.
- Arsenic (As) : 0,5 mg/kg.
- Mercure (Hg) : 0,01 mg/kg.

D'un point de vue hygiénique, le critère principal requis est l'innocuité microbiologique. Pour se faire, on contrôle l'absence de germes pathogènes et fongiques en suivant la même législation que l'alimentation. Naturellement, les conditions générales d'hygiène doivent suivre rigoureusement les règles de bonne pratique de préparation en agroalimentaire. Le destiné à la consommation humaine, ne doit pas contenir d'éléments étrangers à l'exception de la présence accidentelle et dépourvue d'effet délétère de fragments d'abeille, de fragments de plantes ou de bois, ou tout autre élément provenant du processus naturel réalisé par les abeilles (Thibault, 2017).

1.3. Critères nutritionnels

Le pollen d'abeille est complément alimentaire connu par sa composition nutritionnelle riche, cette dernière varie d'un pollen à un autre selon plusieurs facteurs. La variable la plus importante pour le pollen est l'origine florale de la plante dont il provient qui influe de manière considérable sur sa composition. La composition varie également en

fonction du sol ; de la saison de récolte et également des conditions climatiques ainsi que du mode de transformation et de stockage. Pour caractériser les différents types de pollen, les équipes de recherche ont mis en place une approche basée sur l'analyse du profil des flavonoïdes et des acides phénoliques par CLHP.

Tableau VI : la composition nutritionnelle du pollen récolté par les abeilles (Massaux, 2016).

Les composants	La quantité [Min-Max]
Protéines	10 – 40 g/100g
Lipides	1 – 10 g/100g
Hydrate de carbone	13 – 55 g/100g
Fibres	0.3 – 20 g/100g
Vitamines	20 – 100 mg/100g
Flavonoïdes	40 – 3000 mg/100g
Minéraux	500 – 3000 mg/100g

V. Guide des bonnes pratiques apicole

1. Définition

Un GBP (Guide des Bonnes Pratiques) est un document écrit présentant des recommandations sur les meilleures pratiques à utiliser dans un contexte donné. Les recommandations sont élaborées en suivant une méthodologie systématique et elles sont basées tant sur les connaissances issues de la recherche que sur la pratique. Dans le domaine apicole, le GBPA (Guide des Bonnes Pratiques Apicole) a pour objectif de proposer à chaque apiculteur des bonnes pratiques de gestion de son cheptel visant à préserver la santé de ses colonies et sa propre santé tout en contribuant à assurer la sécurité sanitaire et la traçabilité des produits qu'il génère.

Le GBPA est un outil d'application volontaire, qui présente quelques pratiques à application obligatoire pour une meilleure production.

2. bonnes pratiques de production du pollen

Pour atteindre une production apicole réussie en termes de qualité et quantité, l'apiculteur doit avoir un GBPA à respecter.

D'après nos recherches sur la production du pollen et ce qu'on a expliqué dans ce travail, nous avons essayé de rassembler quelques bonnes pratiques apicoles pour former un guide qui peut aider les producteurs du pollen :

NB : les pratiques qui sont obligatoires sont citées en gras et celles qui sont volontaires sont citées sans gras.

Tableau VII : les bonnes pratiques de production du pollen d'abeille.

<p>Emplacement des ruches</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Placer les ruches dans un endroit propre et loin de toutes sources de pollution. - Placer les ruches dans un endroit exposé au soleil et non humide. - Choisir une zone avec une flore riche et diversifiée tout au long de la saison et sans résidus et substances polluantes. - Installer les ruches sur des supports de 30 à 40 cm de hauteur pour une bonne stabilité et une bonne aération. - Identifier chaque ruche et appliquer un code numérique unique afin de pouvoir documenter les interventions.
<p>Choix et entretien du matériel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Choisir un matériel d'un modèle standard et de bonne qualité, facile à nettoyer et à entretenir. - Choisir des produits autorisés pour le nettoyage des ruches (non toxique et ne dégrade pas le matériel). - Le modèle de trappe doit être solide, étanche, durable et permettre un nettoyage facile. Dans la mesure du possible, les recoins sont à éviter. - La dimension du peigne à pollen doit être adaptée à la force de la colonie. Il ne doit pas blesser les abeilles.
<p>La santé des abeilles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier régulièrement l'état de santé des colonies durant l'année par l'inspection des abeilles et des nouveaux cadres. La fréquence de ces contrôles dépend de la saison: réduction des inspections pendant l'hiver et pendant des conditions météorologiques défavorables. - Utiliser uniquement des médicaments enregistrés pour les abeilles et respecter les instructions et les directives en cours. Rapporter l'utilisation de médicaments dans le registre de rucher. - Éviter l'échange des cadres entre ruches si l'état de santé des colonies est inconnu. Séparer les ruches malades des ruches saines.

	<p>Détruire, si nécessaire, les colonies infectées.</p> <p>- Garder l'infestation de varroa sous contrôle (évaluer la chute de varroas, endiguer la reproduction de varroas, traiter).</p>
La récolte	<p>- Récolter le pollen régulièrement pour donner la chance aux abeilles de réserver leurs besoins (chaque 2 à 3 jours).</p> <p>- Ne laissez pas le pollen dans les trappes la nuit pour éviter toute contamination et humidification.</p> <p>- Assurer les bonnes conditions d'hygiène du personnel et du matériel de la récolte et nettoyer les trappes après chaque récolte.</p>
Nettoyage et conservation	<p>- Appliquer un nettoyage suivi d'une conservation directement après la récolte afin de minimiser la dégradation du pollen.</p> <p>- Assurer l'hygiène des matériaux et locaux pendant le nettoyage et la conservation pour éviter toutes contaminations du pollen.</p> <p>- Choisir une des techniques de conservation qui préserve mieux la qualité du pollen et respecter le barème temps/température.</p>
Conditionnement	<p>- Choisir le type et la matière d'emballage qui convient à la technique de conservation appliquée.</p> <p>- Réaliser le conditionnement dans des chambres aseptiques.</p>
Stockage	<p>- Respecter les conditions de stockage (la température, l'aération, l'humidité...).</p> <p>- Respecter la DLC du pollen :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le pollen frais congelé doit être stocké dans un endroit frais (-15°C) et à l'abri de la lumière, il garde ses propriétés thérapeutiques jusqu'à 2 ans. • Le pollen séché doit être stocké à 5 ° C dans des verres anti UV, il perd 75% de sa valeur nutritive après 1 an et devient inutilisable après 2 ans. • Le pollen conservé sous vide réfrigéré à des températures de -2°C à 3°C est stocké pendant 14 - 20 jours. • Le pollen conservé sous vide congelé à des températures de -18°C à -2°C est stocké pendant 18 - 24 mois.

VI. Commercialisation et consommation du pollen d'abeille

1. Commercialisation mondiale du pollen d'abeille

La définition et la commercialisation du pollen diffère d'un pays à un autre, le Comité de la pharmacopée de la République populaire de Chine 1995 et le Conseil fédéral allemand de la santé (**Llnskens et Jorde, 1997**) ont officiellement reconnu le pollen en tant que médicament. Hormis le Brésil, seuls quelques pays tels que la Suisse et l'Argentine ont légalement reconnu le pollen en tant qu'additif alimentaire et établi des normes et des limites de qualité officielles. Bien que vendu dans de nombreux magasins d'aliments naturels, le pollen n'est pas considéré comme un additif par la FDA (Food and Drug Administration) des États-Unis et il n'est pas obligé de se conformer à des normes spéciales. La réglementation brésilienne sur l'identité du pollen et la norme de qualité était publiée dans Janvier 2001 (**Almeida-Muradian et al, 2005**). Avec l'augmentation de l'attention scientifique portée au pollen collecté par les abeilles comme étant un complément alimentaire, les institutions de réglementation de nombreux pays ont élaboré une législation concernant l'utilisation du pollen. La Chine est le plus gros producteur, consommateur et exportateur d'apiculture dans le monde y compris le pollen d'abeille. Une quantité importante de pollens sont récoltée en Australie, en Argentine, au Brésil, en Chine, en Espagne, au Vietnam et dans certains autres pays. Jusqu'ici, la Corée du Sud a produit environ 600-800 tonnes/an de la culture d'abeilles mellifères, ce qui représente 10% des revenus des apiculteurs (**Jung et Cho, 2015**). Outre les efforts scientifiques visant à examiner les avantages nutritionnels du pollen d'abeille, Une initiative nationale visant à reconnaître le pollen créerait la commercialisation à plus grande échelle, ce qui améliore à son tour la condition économique des apiculteurs (**Ghosh et Jung, 2017**).

En 2010 des enquêtes qui portent sur la connaissance et la consommation des produits de la ruche ont été faites en Wallonie, une région de la Belgique. Les statistiques obtenues à partir des résultats de ces enquêtes sont présentés dans les graphes ci-dessous (**Bruneau, 2016**) :

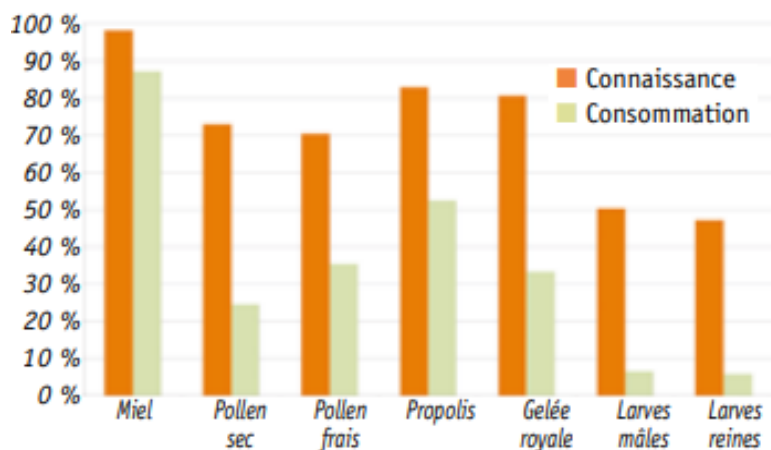


Figure 31 : Connaissance et consommation des produits de la ruche (Bruneau, 2016).

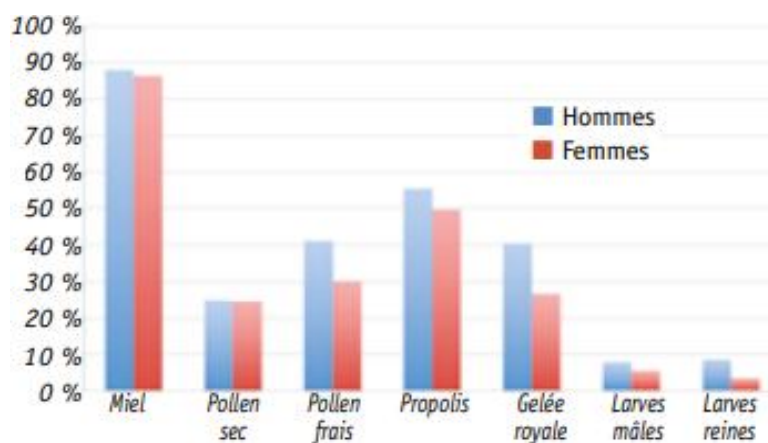


Figure 32 : Connaissance des produits de la ruche homme et femme (Bruneau, 2016).

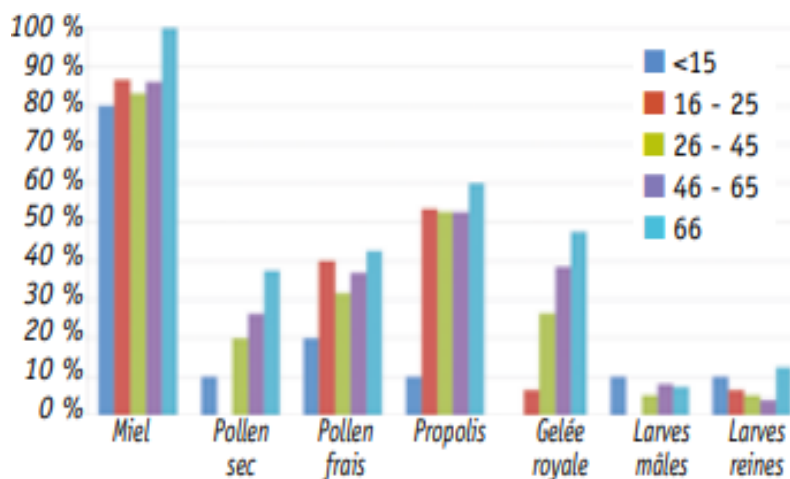


Figure 33 : Connaissance et consommation des produits de la ruche par âge (Bruneau, 2016).

2. Situation de l'apiculture en Algérie

En Algérie, l'apiculture est un élevage ancestral. Elle a toujours revêtu une importance sur le plan socio-économique, compte tenu des conditions climatiques et de la flore importante favorable à son développement. Malgré ces conditions favorables, la production algérienne des produits apicoles en générale et de pollen en particulier est inférieure aux besoins de la consommation locale, alors qu'elle devrait être supérieure et être à l'origine d'un courant d'exportation important (**Berkani, 2007**).

2.1. Facteurs de variation de la production de pollen

La production apicole en Algérie est influencée par différents facteurs :

2.1.1. Facteurs climatiques

Le climat représente le premier facteur indispensable et important. Car à partir de l'environnement, l'apiculteur peut s'adapter. Cette adaptation se manifeste au niveau du choix du matériel, d'emplacement de rucher, pratique de l'élevage telle que transhumance qu'il faut pratiquer d'une façon rationnelle et avec colonies fortes pour augmenter les chances de production.

2.1.2. Facteurs humains

La conduite d'une exploitation apicole moderne nécessite de la part de l'apiculteur un certain nombre d'interventions ayant pour objet de surveiller son cheptel, le maintenir à un bon niveau de rendement, voire de le développer (c'est la bonne conduite des colonies). Dans ce domaine, toutes les techniques d'élevage sont d'une importance primordiale (**Jeanne, 1995**). Il est intéressant que les apiculteurs soucieux d'évaluer les potentialités mellifères existantes et de connaître les possibilités de leur amélioration.

2.1.3. Facteurs génétiques

La race d'abeille représentée dans notre pays est l'abeille mellifère, est d'une race indigène, modérément prolifique, agressive et essaimeuse. De cela, l'apiculteur peut améliorer le rendement de son exploitation par un procédé de sélection. La réalisation d'accouplements entre des sujets trop étroitement apparentés conduit à une baisse très importante de la viabilité de couvain. La cause principale est la consanguinité.

2.1.4. Facteurs alimentaires et sanitaires

Les problèmes de maladies sont particulièrement néfastes pour l'apiculture. De ce fait, il faut des colonies fortes, saines et indemnes de toute maladie. Une colonie forte supporte plus facilement le stress qu'une colonie faible (**SWEITZER, 2002**). Cependant, l'environnement va offrir aux abeilles un bon équilibre alimentaire donc une flore intestinale bien équilibrée qui s'oppose au développement de la maladie. Si la colonie peut disposer à tout moment d'acides gras et de protéines dont elle a besoin, elle pourra produire de la gelée royale de qualité, ceci permettra d'élever la reine, l'ouvrière et le mâle en bon état physiologique. Les abeilles qui ont un corps adipeux bien constitué passeront un bon hivernage grâce à ces réserves en protéines (**Koumad, 2003**).

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Grace à sa valeur nutritionnelle riche, le pollen occupe une place dans le domaine agro-alimentaire comme dans le domaine médical, en assurant des effets thérapeutiques contre plusieurs maladies. Le pollen d'abeille occupe actuellement une place sur le marché mondial, la plupart des pays présente une production et une consommation moyenne à importante.

La consommation et la production du pollen en Algérie reste faible, il est malheureusement méconnu du grand public et surtout très peu exploité malgré les conditions naturelles très favorables à sa production, il serait donc intéressant d'encourager les apiculteurs à placer des trappes à pollen dans leurs ruchers pour développer ce créneau dans un intérêt économique ; alimentaire ; thérapeutique.

Le pollen d'abeille avec sa richesse en nutriments constitue un milieu favorable à l'altération par des agents biologiques (bactéries, moisissures, insectes). Toutefois, grâce à l'évolution des techniques de conservation, l'altération du pollen ne pose plus problème autant qu'avant car sa qualité est mieux préservée et sa durée de conservation est plus prolongée, cela a permis aux apiculteurs d'améliorer leurs productions.

Parmi les techniques de conservation, le séchage est la technique la plus utilisée. Le séchage agit sur l'humidité qui est le facteur principal d'altération, facilitant ainsi son stockage, toutefois cette technique réduit la valeur alimentaire du pollen en détruisant partiellement certaines substances bioactives. Une autre technique de conservation préservant mieux la qualité du pollen, est la congélation : toutefois cette technique exige des températures très basses, coûteuses et difficiles à maintenir.

Le conditionnement est une autre étape importante dans le processus de production du pollen d'abeille. Deux techniques sont actuellement utilisées à savoir : le conditionnement sous vide, et le conditionnement sous atmosphère modifiée. Cette dernière préserve mieux la qualité et l'aspect des grains du pollen plus longtemps sans exiger des conditions particulières de stockage, cette technique convient donc parfaitement au pollen destiné à l'exportation.

Enfin, nous avons élaboré un guide des pratiques apicoles, qui contient un ensemble de bonnes pratiques que l'apiculteur doit respecter afin de préserver en premier lieu la santé de son cheptel apicole, et en second lieu de produire un pollen de meilleure qualité sanitaire.

Références bibliographiques

A

- **ADAM Gilles ; 2010** ; la biologie de l'abeille.
- **ADJLANE Noureddine, DOUMANDJI Salah-Eddine, HADDAD Nizar ; 2012** ; Situation de l'apiculture en Algérie : facteurs menaçant la survie des colonies d'abeilles locales *Apis mellifera intermissa* ; cahier agriculture ; vol 21 n°04 ; p235-241.
- **ADJLANE Noureddine, HADJ ALI .L.M, BENAMARA .M, BOUNADI .O, HADDAD .N ; 2017** ; qualité microbiologique du pollen produit par les apiculteurs et commercialisé en Algérie ; Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 11, N°1, p : 31-39.
- **ADJLANE Noureddine, Hadj Ali. L.M, Benamara. M, Bounadi.O, Haddad.N ; 2017** ; qualité microbiologique du pollen produit par les apiculteurs et commercialisé en Algérie ; Rev. Microbiol. Ind. San et Environn. Vol 11, N°1, p : 31-39.
- **ALBITAR Nsren ; 2010** ; Etude comparative des procédés de séchage couplés à la texturation par Détente Instantanée Contrôlée DIC, en termes de cinétique et de qualité nutritionnelle. Applications à la valorisation des déchets agro-industriels ; Thèse de doctorat ; Université de La Rochelle ; France.
- **ALLAF Karim, Mounir Sabah, Allaf Tammara ; 2012** ; Swell-drying : séchage et texturation par DIC des végétaux Techniques de l'ingénieur ; réf : F3005v, p 18.
- **ALMEIDA-Muradian L.B, Pamplona L.C, Coimbra S., Barth O.M, 2005.** Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. Journal of Food Composition Analysis, 18 ; p : 105-111.

B

- **BAUDEL Mathilde ; 2017** ; l'apithérapie ; diplôme d'état de docteur en pharmacie ; université Picardie jule verine ; amiens ; France.
- **BENARD.G ; 1973** ; quelques aspects de la lyophilisation du pollen de cocotier.
- **BLANC Mickaël ; 2010** ; Propriétés et usage médical des produits de la ruche ; diplôme d'état de docteur en pharmacie ; université le limoge ; limoge ; France.
- **BOGDANOV Stefan ; 2004** ; Quality and Standards of Pollen and Beeswax. APIACTA, vol 38, 334-341.
- **BOGDANOV Stefan, Bieri K., Gremaud G., Iff D., Känzing., Seiler K., Stöckli., Zürcher K., 2004.** Produits apicoles: 23B pollen. Revus par le groupe d'experts « produits apicoles » MSDA : 1- 6.

- **BOISSET.M. 2017** ; les « métaux lourds dans l'alimentation » : quels risques pour les consommateurs ? Heavy metals in food :what risks for consumers ?; Médecine des Maladies Métaboliques ; 11(4) ; p :337-340.
- **BRUNEAU Etienne ; 2012** ; conditionnement du pollen ; fiche technique.
- **BRUNEAU Etienne ; 2014** ; pollen : fiche d'évaluation organoleptique ; fiche technique n°163 ; abeille et siècle.
- **BRUNEAU Etienne ; 2016** ; Bee attitude, enquête sur les produit de la ruches ; abeilles et siècle ; fiche technique ; n°175.
- **BUSTI David ; 2012** ; La récolte du pollen et du nectar par l'Abeille domestique ; consulter le 06/07/2021.

C

- **CAMPOS M.G.R, Bogdanov Stefan , Almeida-Muradian Ligia Bicudo de , Szczesna Teresa , Mancebo Yanina , christian Frigerio , Ferreira francisco ; 2008** ; Pollen composition and standardization of analytical methods. J. Apic. Res. 47(2):156-163.
- **CETIAT Ademe ; 2017** ; les procédés de séchage dans l'industrie.
- **CHARRIERE Jean-Daniel, DIETEMMAN Vincent, SCHAFER Marc, DAINAT Benjamin ; 2012** ; guide de la santé de l'abeille ; Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP ; n°87f .
- **CHAUZAT Marie-Pierre, Jean-Paul FAUCON, Anne-Claire MARTEL, Julie LACHAIZE, Nicolas COUGOULE et Michel AUBERT ; 2006** ; les pesticides, le pollen et l'abeille.
- **COUVILLON M.J ; 2012** ; the dance legacy of karl von dfish ; insect sociaux ; vol59 ; p 297-306.

D

- **DADDA.B, KHERROUR.S, SERIR.L ; 2008** ; Réalisation d'un séchoir solaire indirect ; Revue des Energies Renouvelables SMSTS; P 127 – 134.
- **DEGRANDI-HOFFMANA Gloria, L.GAGEA Stéphanie, CORBY-HARRISA Vanessa, CARROLLA Mark, CHAMBERSA Mona, GRAHAMA Henry, WATKINS DEJONGA Emily, HIDALGOA Geoffrey, CALLEA Samantha, AZZOUZ-OLDENB Farida, MEADORA Charlotte, SNYDERA Lucy, ZIOLKOWSK Nick ; 2018** ; connecting the nutrient composition of seasonal pollens with changing nutritional needs of

honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies ; journal of insects physiology ; 109(2018) ; p 114-124.

- **DELAFONTAINE Charline ; 2019** ; Le pollen frais, le nouveau super aliment issu de la ruche.
- **DELAMOTTE Albéric ; 2019** ; pollen ; CFPPA Poitier venours agri campus.
- **DE-MELO A.A.M., de ALMEIDA-MURADINA L.B. ; 2017** ; Chemical Composition of Bee Pollen. In : Alvarez-Suarez J. (eds) Bee Products - Chemical and Biological Properties. Springer, Cham.
- **DEMERS Isabelle ; 2013** ; état des connaissances sur le pollen et les allergies.
- **DENISOW Bozena, DENISOW-PIETRZYK Marta ; 2016** ; Biological and therapeutic proprieties of bee pollen ; science of food and agriculture ; vol96 issue 13 ; p 4303-4309.
- **DOYMAZ Ibrahim ; 2004** ; Convective air drying characteristics of thin layer carrots ; Journal of Food Engineering ; 61(3) ; p 359-364.
- **DUMAS Christian ; 2021** ; la fleur et ses organes reproducteurs males et femelles.

F

- **FELTIN Maurice, HUMMEL Robert ; 2016** ; Reconnaître le pollen des plantes, arbres ou arbustes mellifères.
- **FERT Gilles ; 2010** ; Le pas à pas : l'importance du pollen.
- **FERT Gilles ; 2014** ; la fausse teigne ou « papillon de la ruche » ; abeilles et fleurs.
- **FLOSOS John D., MATSOS Konstantinos I ; 2005** ; Introduction to modified atmosphere packaging ; Food Science and Technology ; p : 159-172.

G

- **GHUATHIER.Ch ; 2014** ; La récolte du pollen : un débouché supplémentaire à la portée de tous ; abeille de France.
- **GIRAUD Florentine, BARBANCON Jean-Marie ; 2014** ; méthodes de désinfection utilisables en apiculture ; n°263.10.

- **GROSS KENNETH.C, WANG Chien Yi, Saltveit Mikal ; 2016** ; The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks.

- **GUNCE Alimoglu, ETIL Guzelmeric, PARLA Isil Yuksel, CANSSEL Celik, INCI Deniz, ERDEM Yesilad ; 2021 ;** Monofloral and polyfloral bee pollens: Comparative evaluation of their phenolics and bioactivity profiles.

H

- **HUMMEL robert, JUNG.R, BOEGLLEN Hervé, FELTIN Maurice ; 2020 ;** Les bienfaits du pollen pour l'être humain, l'écho du rucher n°52.
- **HUMMEL Robert, FELTIN Maurice ; 2017 ;** règles et principes pour la bonne conduite d'un rucher sédentaire, syndicat des apiculteurs de Thann et environs.

I

- **Institut Technique et Scientifique de l'Apiculture et la Pollinisation ; 2018 ;** Guide des bonnes pratiques apicoles R : Conduite des ruchers.
- **ISENGARD Heinz-Dieter. 2001 ;** Water content, one of the most important properties of food ; food control ; 12(7) ; p : 395-400.

J

- **JEAN Tanguy ;** schéma du grain de pollen.
- **JOUVE Nicolas ; 2005 ;** séchage par convection, bilan et diagramme de l'air humide.
- **JOUVE Nicolas ; 2007 ;** cours de séchage – entraînement.
- **JULY ; 2012 ;** la communication chez les abeilles.

K

- **KEVIN.C .Spencer ; 2005 ;** Modified atmosphere packaging of ready-to-eat foods ; food and science technology ; p : 185- 203.
- **KIARED.GH (Ould-Amara) ; 2015 ;** pollen du nord d'Algérie : méthodes de piégeage, classification et identification.
- **KUREK-GORECKA Anna, GORECKI Michał, RZEPECKA-STOJKO Anna, BALWIERZ Radosław, STOJKO Jerzy ; 2020 ;** Bee Products in Dermatology and Skin Care ; molecules ; 25(556).

L

- **LAHMARIN ; FAHLOUL.D ; AZANI. I ; 2012** ; influence des méthodes de séchage la qualité des tomates séchées (variété Zahra) ; Energies Renouvelables ; vil 15N) 02 ; p. 285-295.
- **LAND. K ; STEINBERG M. P ; 1980** ; calculation of moisture content of a formulated food system to any given water activity ; journal of food science ; 45(5 ; pp.1228-1230.
- **LE CONTE YEVS** ; écologie des invertébrés, laboratoire de biologie et protection de l'abeille, 2015 mise à jour 2020.
- **LE MOEL Marion, VOLBERT Nicolas ; 2015** ; Guide des bonnes pratiques apicoles de Rodrigues ; version 2015.
- **LESHUK, J.A, SALTVEIT M.E ; 1990** ; Controlled atmosphere storage requirements and recommendations for vegetables. In M. Calderon and R. Barkai-Golan, eds, Food Preservation by Modified Atmospheres, pp. 315-352. CRC Press, Boca Raton, FL.
- **LEVAC Bernard, MRCEAU Jocelyn ; 1991** ; Québec ; séchoir à pollen.
- **Llnskens, H., Jorde, W. ; 1997** ; Pollen as food and medicine a review ; Economic Botany ; 51(1) ; p : 78.
- **LUIS Cisneros-Zevallos John, KROCHTA.M ; 2005** ; Internal modified atmospheres of coated fresh fruits and vegetables: Understanding relative humidity effects ; food science and technology ; p : 173-184.

M

- **MACALUSO-GALLETTA Anna ; 2004** ; étude des niveau de contamination en HAP et des différentes variables biologiques dans les grains de pollen de pin (*pinus nigra*) et de frêne (*fraxinus Excelsior*) du sillon mosellan ; grade de docteur en sciences mention toxicologie de l'environnement ; université de METZ-UFR sci F.A ; Metz ; France.
- **MACKOWIAK claire ; 2009** ; le déclin de l'abeille domestique *apis mellifera* ; thèse de doctorat ; université Henri Poincaré Nancy 1 ; Nancy ; France.
- **MALFAIT Sabine, BRUNEAU Etienne ; 2016** ; les produits de la ruches ; tout le monde ; fiches technique n°184.
- **MARCUCCI M.C ; 1995** ; Propolis : chemical composition, biological properties and therapeutic activity ; Apidologie ; vol26(2) p. 83-99.

- **MASSAUX Carine ; 2016 ;** pollen : une composition nutritionnelle d'intérêts, l'abeille & C^{le} ; volume 5 n°174 ; p29.
- **MEOT Jean-Michel, RIVIER Michel, DEPLECH Charlotte ; 2021 ;** séchoir à claies ; plateforme de technologie agroalimentaire.
- **MOUNIR Sabah Halle, DENIS, ALLAF Karim ; 2011 ;** Characterization of pure cheese snacks and expanded granule powders textured by the instant controlled pressure drop (DIC) process ; Dairy Science and Technology ; 91(4) ; p 441-455.
- **MOUNIR Sabah., ALLAF Tammara ; MUJUMDAR .A.S ; & Allaf Karim ; 2012 ;** Swell Drying: Coupling Instant Controlled Pressure Drop DIC to standard convection drying processes to intensify transfer phenomena and improve quality—An overview. Drying Technology ; 30(14) ; p 1508-1531.

N

- **NGUYEN Thu Ha ; 2015 ;** Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux ; thèse de doctorat ; université de Bretagne sud ; Lorient ; France.
- **NTAKIRUTIMANA Dieudonne ; 2016 ;** pollinisation des plantes par les insectes : phénomène indispensable pour la préservation de la biodiversité et la survie de l'homme.

P

- **PACINI Ettore ; HESSE Michael ; 2005 ;** Pollenkitt—its composition, forms and functions ; Flora- morphology, distribution, functional ecology of plants ; vol 200 ; p 399-415.
- **PATERSON P.D ; 2008 ;** L'apiculture. Ed. Quae CTA ; p : 163.
- **PERCIE DU SERT .P ; 2003 ;** Les pollens qui nous soignent. Guy Trédaniel ; Editeur 2^{Emme} édition p : 221.
- **PERDRIX Jean-Louis ; 2017 ;** la récolte du pollen ; bulletin n°84.
- **PERDRIX Jean-Louis ; 2018 ;** bulletin N°84 le pollen ressource alimentaire.
- **PIERRED ; 2016 ;** lutter contre les fausses teignes ; ASAPISTRA.
- **PITTA.M MARKAKI.P ; 2010 ;** Study of aflatoxin B1 production by *Aspergillus parasiticus* in bee pollen of Greek origin. Mycotox Res. 26:229–234.

R

- **ROGER Mathilde ; 2012 ;** Santé de l'abeille domestique en paysage agricole. Sciences agricoles dumas 00741815.
- **ROY Christoph ; 2013 ;** conférence : données prédictives de la santé des colonies d'abeilles.

S

- **SAMUEL Onil, LAURENT Louis St ; 2001 ;** guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère.
- **SAMUEL Onil, LAAURENT Louis St, VALCKE Mathieu, CHAPADOS Maude, MARIE-EVE ; 2019 ;** Les risques sanitaires des pesticides : des pistes d'action pour en réduire les impacts ; mémoire ; Québec ; Canada.
- **SAUVAGE Jean-Pierre ; 2015 ;** Pratiquer le conditionnement sous vide sous vide dans de bonnes conditions dans de bonnes condition ; version 1.
- **SAUVAGE Jean-Pierre ; 2018 ;** technique et outils de transformation- fiche technique.
- **SERRA BONVEHLJ, VENTURA Coll, ESCOLA JORDA.E ; 1994 ;** The composition, active components and bacteriostatic activity in propolis in dietetics ; Journal of the American Oil Chemists' Society ; vol 71(5) ; p 529-532.
- **SESSA THONY Aurore ; 2020 ;** les bienfaits des produits de la ruche.
- **STANLEY R.G, LINSKENS H.F ; 1974 ;** Pollen: Biology, biochemistry, management. Heidelberg, Germany, Springer.
- **SZCZESNA.T, RYBAK-CHMIELEWSKA.H, CHMIELEWSLKA.W ; 2002 ;** Sugar composition of pollen loads harvested at different period of the beekeeping season. Journal of Apicultural Science 46 (2):pp.107-115.

T

- **THAKUR Mamta, NANDA Vikas ; 2020 ;** Composition and functionality of bee pollen ; Trends in Food Science & Technology.98,p 82-106.

- **THIBAUT Marion ; 2017** ; le pollen apicole : ses propriétés et ses utilisations thérapeutiques ; diplôme d'état de docteur en pharmacie ; université de lorraine ; Nancy ; France.
- **TOMAS-LOREM et al ; 1992** ; Flavanoids from cistus ladanifer bee pollen. *Phytochemistry* ; v 31(6) ; pp : 2027-2099.
- **TOZLOVANU Mariana ; 2008** ; Évaluation du risque de contamination alimentaire en mycotoxines néphrotoxiques et cancérigènes (notamment l'ochratoxine A) : validation de biomarqueurs d'exposition et d'effet. PhD ; thèse de doctorat ; Institut National Polytechnique de Toulouse ; Toulouse ; France.
- **TREMBLAY Nicolas ; 2016** ; production du pollen ; apiculture101.

V

- **VANILDA APARECIDA SOARESDE Arruda, Aline Aparecida SantosPereira, Alex Silvade Freitas, Ortrud MonikaBarth, Ligia Bicudode Almeida-Muradian ; 2012** ; Dried bee pollen: B complex vitamins, physicochemical and botanical composition ; *journal of food composition and analysis* ; issue2 (volume 29) ; p 100-105.
- **VIDAL-NAQUET Nicolas ; 2011** ; les maladies de l'abeille domestiques d'élevage, *apis Mellifera* ; vol 165-n°5.

W

- **WARD Jhon ; 2020** ; les moisissures sur les aliments

X

- **XIAOZHI Xi, JIA Li, SHASHA Guo, YUJUAN Li, FANGXUE Xu, MENGMENG Zheng, HUI Cao, XIAOWEI Cui, HONG Guo, CHUNCHAO Han ; 2018** ; The Potential of Using Bee Pollen in Cosmetics ; *Journal of Oleo Science* ; 67(9) ; p 1071-1082.

Z

- **ZOUBAIER Hadden ; 2017** ; pollen d'abeille : vertus, bienfait, compositions, posologie, méfaits et effets indésirables.

➤ Cites web :

- http://www.agrilisa.com/Boutique/tabid/64/ProdID/41092/TRAPPE_A_POLLEN_DT10.aspx
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Pain_d%27abeille
- <https://www.pollinisateurs-nouvelle-aquitaine.fr/la-pollinisation/>
- <https://learningapps.org/display?v=pvivy8sok>
- <https://www.lescomptoirsmitoyens.com/2018/09/05/les-mots-importants-reproduction-plantes-fleurs>
- <https://www.naturapi.com>
- http://climatic.inforef.be/palyno/1/cycle_reproduction.htm
- <https://fr.haarslev.com/products/rotary-drum-dryer>
- <https://www.anel.gr/fr/miellerie/Traitement-des-ProduitsdeLaRuche/pollen>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tarare_\(machine\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tarare_(machine))