

Technologie du miel

Cours destiné aux étudiants de L3 Apiculture

Dr. BELLIL Inès

Chapitre 1 : Le miel

1. Définition

Il existe de nombreuses définitions du miel mais on peut en retenir deux. La première, établie par Moreaux, définit le miel comme étant "la matière sucrée recueillie par l'abeille sur les plantes vivantes et qu'en la modifiant, elle emmagasine dans ses rayons de cire". La seconde correspond à celle du législateur qui définit le miel comme étant "la denrée produite par les abeilles mellifiques à partir du nectar des fleurs ou de sécrétions provenant de parties vivantes de plantes ou se trouvant sur elles, qu'elles butinent, transforment, combinent avec des matières spécifiques propres, emmagasinent et laissent mûrir dans les rayons de la ruche. Cette denrée peut être fluide, liquide ou cristallisée ».

2. Elaboration du miel

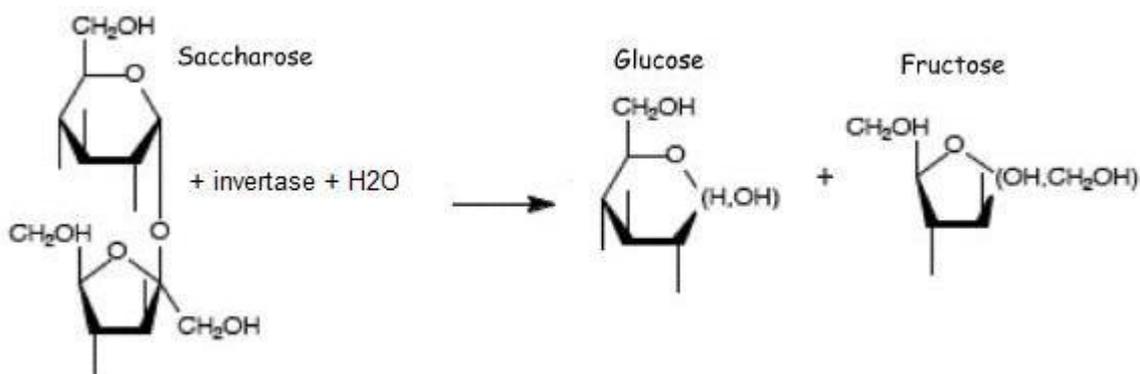
2.1. Le butinage

La production de miel est l'activité principale des abeilles butineuses et ouvrières, qui y consacrent la plupart de leur temps. Une butineuse effectue entre 20 et 50 voyages par jour, chacun demandant environ 15 minutes. Le rayon d'action moyen se situe entre 500 mètres et 2 kilomètres, d'où l'importance, en plus des conditions climatiques et de la nature du sol, de la végétation des alentours du rucher. Ainsi, les abeilles butineuses vont de fleurs en fleurs pour remplir leur jabot de substances sucrées: le nectar ou le miellat. Une abeille en période de miellée visite entre 3000 et 4000 fleurs et parcourt 25 kilomètres pour rapporter environ 1/2 gramme de nectar par jour. Elles remplissent leur jabot puis transportent le miellat ou nectar jusqu'à leur ruche.

2.2. La transformation

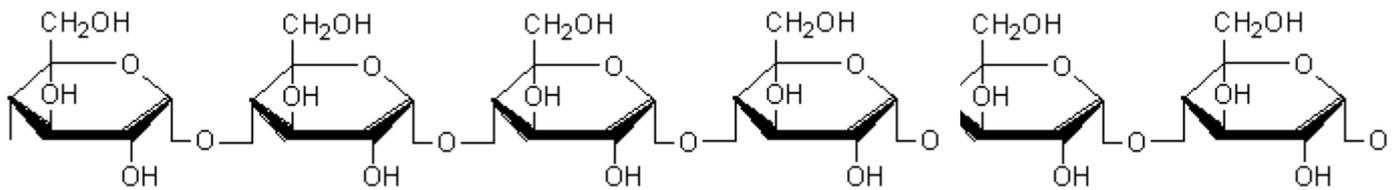
Le changement de la solution sucrée en miel commence déjà lors du voyage, au cours duquel elle est accumulée dans le jabot de l'abeille. C'est dans son tube digestif que s'amorce la longue transformation. Ces abeilles butineuses mélangent dans leur jabot le nectar ou le miellat avec une enzyme, la gluco-invertase, contenue dans leur salive. Il se produit alors une réaction chimique, l'hydrolyse du saccharose.

De ce fait, le saccharose, de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$, contenu dans ces substances sucrées, réagit avec la gluco-invertase pour former du glucose et du fructose, deux isotopes de formule $C_6H_{12}O_6$, selon la réaction d'inversion suivante :

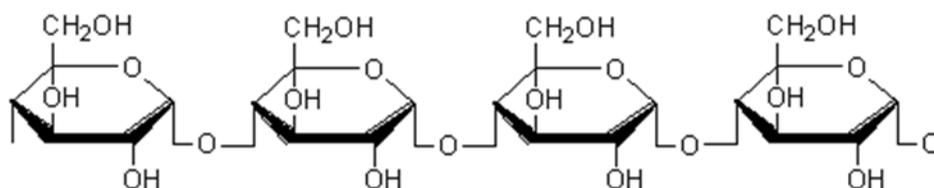


Les modifications physico-chimiques se poursuivent dès l'arrivée à la ruche. A leur retour à la ruche, les butineuses confient leur récolte aux mâles et aux abeilles ouvrières. Celles-ci vont transformer la récolte en y ajoutant de la salive et des sucs digestifs par des régurgitations successives (trophallaxie) c à d que la butineuse régurgite sa charge, la passe aux ouvrières, qui elles-mêmes la communiquent à d'autres et ainsi de suite, ayant pour effet de compléter le processus de digestion des sucres. D'individu en individu, la teneur en eau s'abaisse en même temps que le liquide s'enrichit de sucs gastriques et de substances salivaires : invertase, diastase, et gluco-oxydase. Simultanément, d'autres sucres sont synthétisés, qui n'existent pas au départ.

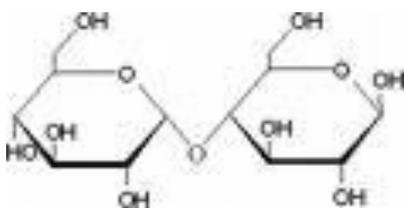
D'autres réactions se produisent également lors du processus de transformation. L'abeille rajoute aussi 2 enzymes salivaires l'alpha et beta amylases. L'enzyme alpha-amylase hydrolyse au hasard les liaisons des chaînes d'amylose (polyoside de glucose, molécule formée de 600 à 1000 molécules de glucoses en chaînes linéaires) à l'exception des liaisons terminales en libérant quelques molécules de glucose et de maltose (diholoside de glucose ou dimère de glucose) mais surtout des dextrans (amylose partiellement hydrolysé comprenant entre quelques dizaines à quelques centaines d'unités de glucose).



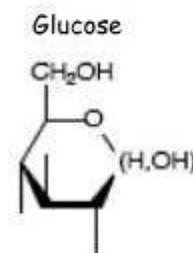
Molécule d'amylose



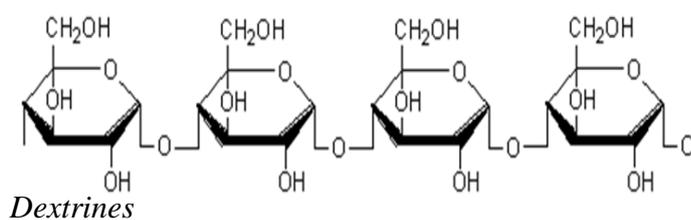
Molécule de dextrine



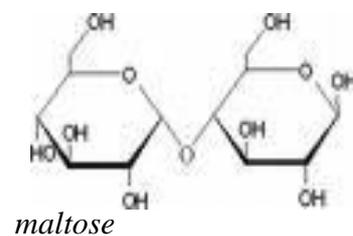
Molécule de maltose



L'enzyme bêta-amylase intervient après l'alpha-amylase. Elle hydrolyse les dextrans pour donner des molécules de maltose.



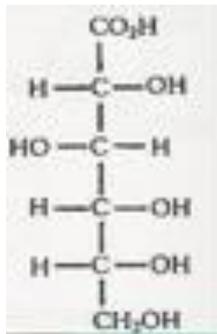
Dextrines



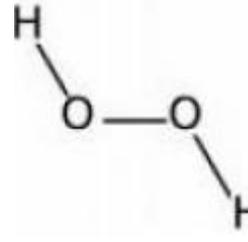
maltose

Ainsi à la fin de ces deux réactions, il n'y a plus de polyosides de glucose dans le miel. Il ne reste que des sucres simples et des molécules de maltose qui sont plus assimilables par l'homme.

L'autre enzyme ajoutée est la glucose-oxydase. C'est une enzyme sécrétée par les glandes nourricières de l'abeille. Cette enzyme oxyde le glucose en présence d'eau pour donner de l'eau oxygénée (H_2O_2) aussi appelé peroxyde d'hydrogène et de l'acide gluconique ($C_6H_{12}O_7$).



Acide gluconique



peroxyde d'hydrogène

Toutes ces réactions se forment que dans le miel non mûr car l'eau est indispensable au processus d'oxydation.

Après ce processus de transformation, la goutte épaissie est déversée ensuite dans une alvéole qui sera, après évaporation, obturée par un opercule de cire.

2.3. La maturation

A ce moment, la solution sucrée transformée, qui contient encore 50% d'eau environ, va subir une nouvelle concentration par évaporation, qui se fait sous la double influence :

- d'abord de la chaleur régnant dans la ruche et qui est d'environ 36°C
- ensuite du travail des ouvrières et des ventileuses. **La première phase est une phase active.** Les ouvrières, la tête tournée vers le haut des rayons, refoulent sous leur langue à demi-repliée une partie du contenu de leur jabot. La goutte ainsi étalée se déshydrate partiellement au contact de l'air relativement sec de la ruche. L'opération est ainsi renouvelée pendant 15 à 20 minutes. Quand la teneur en eau est tombée aux environs de 40 à 50%, le miel est alors déposé dans un alvéole. **La deuxième phase est une phase passive,** c'est une ventilation assurée par le travail des ventileuses qui entretiennent un puissant courant d'air ascendant par un mouvement très rapide de leurs ailes. Cela permet au miel de perdre plus de 50% d'eau et d'arriver finalement à une composition de 18% d'eau et 80% de sucres (glucose et fructose), correspondant aux pourcentages normaux du miel.

Une fois le miel ayant atteint cette composition, les abeilles referment les alvéoles remplis de miel d'une mince couche de cire pour le stocker. L'alvéole ne sera rouvert que lorsque les abeilles auront besoin de miel. C'est là qu'il achèvera sa transformation biochimique.

Evaporation de l'excès d'eau et concentration en sucres sont donc les deux objectifs principaux. Grâce à cela, la colonie dispose en réserve d'un aliment hautement énergétique, stable, de longue conservation et peu sensible aux fermentations.

3. Propriétés physicochimiques du miel

Les propriétés mécaniques, thermiques, électriques, optiques du miel ont été étudiées

3.1. La masse volumique ou poids spécifique

La masse volumique du miel est en moyenne de 1.4224g/cm^3 à 20°C pour une teneur en eau de 17.2%. La variabilité autour de cette valeur provient de la variabilité de la teneur en eau et très secondairement, de la teneur en matières minérales. Une simple mesure de la masse volumique permet de connaître la teneur en eau des miels. Elle s'apprécie avec un densitomètre.

3.2. La viscosité

La viscosité des miels dépend de deux paramètres qui sont la teneur en eau et la température. Ce sont eux qui influent le plus directement sur la viscosité des miels et cela selon les lois classiques. Un autre facteur propre à chaque miel peut être considéré, la composition chimique. En effet, certains miels contiennent en petites quantités des substances qui modifient profondément leur viscosité.

*Exemples :

- Le miel de Callune (*Calluna vulgaris*, bruyère) ne s'écoule pas mais présente une véritable Thixotropie (liquéfaction de certains gels visqueux quand on les agite, mais qui reprennent leur viscosité après repos.

- Le miel d'Eucalyptus qui est dilatant, il représente une viscosité très élevée lorsqu'il est soumis à une agitation alors qu'au repos il coule sans difficulté.

Pour les miels dont la viscosité est normale, on constate que pour les teneurs en eau les plus courantes (17.5% à 18.5%) la température de 30 à 35°C .

3.3. La chaleur spécifique

La chaleur spécifique du miel est de 0.54 à 20°C pour une teneur en eau de 17% d'eau. En revanche un miel déshydraté que l'on dissout dans l'eau absorbe la chaleur.

3.4. La conductibilité thermique

Le miel est un mauvais conducteur de chaleur, sauf quand il est tout à fait déshydraté. La formule qui l'exprime est $L=1.29.10^{-4}$ à 20°C pour un miel à 20% d'eau et finement cristallisé.

3.5. La conductibilité électrique

Elle est intéressante, car elle permet de distinguer aisément des miellats des miels de fleurs, les premiers ayant une conductibilité bien plus élevée que les seconds. Mais il existe des variations importantes. On l'évalue à l'aide d'une unité particulière, le Siemens. Pour une solution à 20% de matière sèche et à la température de 20°C , la conductibilité va de 1 à plus de 10^{-4} S.cm⁻¹.

3.6. L'abaissement du point de congélation

Il dépend de la proportion en sucres. Il serait de 1.42°C à 1.53°C en solution aqueuse à 15%., et 2.75°C à 3.15°C en solution aqueuse à 25%.

3.7. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction du miel est fonction de sa teneur en eau et de sa température. La mesure se fait par réfractomètre. Il existe une table de conversion qui permet de connaître directement la teneur en eau d'un miel connaissant son indice de réfraction.

3.8. Le pouvoir rotatoire

La plupart des miels sont lévogyres mais il existe des miels dextrogyres. La mesure du pouvoir rotatoire des solutions de miel était utilisée pour la recherche des falsifications.

3.9. La fluorescence

Certains miels présentent en lumière ultra-violette une fluorescence bleue ou verdâtre dont l'origine est mal connue.

3.10.L'hygroscopie du miel

Le miel tend à absorber l'humidité de l'air et, si on le laisse trop longtemps dans une atmosphère humide, cette absorption peut être considérable. Un miel "normal", contenant 18% d'eau, peut atteindre, au bout de trois mois, une hygrométrie de 55% : son poids a alors augmenté de 84%. D'autre part, lorsqu'on veut dessécher le miel, il est nuisible de le maintenir en atmosphère rigoureusement sèche, parce qu'il se forme en surface une pellicule dure qui empêche le reste d'eau de s'évaporer.

3.11.La coloration des miels

La coloration est un facteur important de classement des miels. Les substances responsables sont encore mal connues. Selon son origine florale, le miel peut avoir une couleur très variable allant d'une absence presque complète (incolore) à un brun très foncé, presque noir.

3.12.La cristallisation des miels

Le miel est une solution sursaturée de sucres dont certains, tels que le glucose cristallisent facilement pour une faible concentration. La croissance de ces cristaux aboutit à la formation de 2 phases : une phase solide constituée de glucose cristallisé et une phase liquide enrichie en eau, les deux phases ne se séparent pas.

La cristallisation est plus rapide vers 15°C, arrêtée à 25°C et à basse température. Si la teneur en eau est faible, le miel cristallise entièrement. Si la teneur en eau est supérieure à 18°C, la phase solide du glucose cristallise, se sépare de la phase liquide (eau et fructose) et surnage.

L'aptitude à cristalliser d'un miel est fonction du rapport D/W (glucose/eau) selon White et al.(1962). Pour un indice inférieur à 1.6, la cristallisation est nulle ou très lente. Elle est très rapide et complète pour les indices supérieurs à 2.

4. Composition du miel

4.1. L'eau

La teneur en eau est industriellement l'une des caractéristiques les plus importantes du miel. Elle conditionne sa conservation, sa masse spécifique, sa viscosité, sa saveur.... Elle constitue un élément prépondérant de la qualité. Elle est normalement comprise entre 16 à 18% selon la maturité du miel lors de sa récolte. En fait, les abeilles operculent les alvéoles lorsque la teneur en eau avoisine les 18%.

4.2. Les glucides

Les glucides représentent de 95 à 99% de la matière sèche du miel, représentés essentiellement par les monosaccharides qui représentent 85 à 95% des sucres du miel mais c'est le fructose qui est presque toujours dominant, avec une teneur de 38%, tandis que la teneur en glucose est de 31%. On y trouve également du saccharose (1.5%) et du maltose (7.5%) ainsi que d'autres sucres présents à l'état de traces : isomaltose, nigérose, turanose, maltulose, isomaltulose, leucrose, kojibiose, néotrèhalose, gentiobiose, laminaribiose, mélézitoze, erlose, 1-kertose, dextrantriose, raffinose, isopanose, isomaltotétraose, 6-a-glucosylsaccharose, arabogalactomannane, maltotriose, isomaltopentaose, panose, isomaltotriose, 3-a-isomaltosylglucose, centose.

4.3. Les acides

Tous les miels ont une réaction acide. Ils contiennent des acides organiques et des lactones. Certains acides du miel proviennent du nectar ou du miellat mais leur origine principale est dans les sécrétions salivaires de l'abeille et dans les processus enzymatiques et fermentatifs. Après plusieurs passages par le jabot de l'abeille l'acidité augmente. Les acides représentent 0.3%. Le plus important est l'acide gluconique dont l'origine serait une bactérie, appelée gluconobacter, qui, lors de la maturation du miel, transformerait le glucose en acide gluconique. On y trouve également une vingtaine d'acides organiques comme l'acide acétique, l'acide citrique, l'acide lactique, l'acide malique, l'acide oxalique, l'acide butyrique, l'acide pyroglutamique et l'acide succinique. On y trouve des traces d'acide formique (un des constituants du venin), d'acide chlorhydrique et d'acide phosphorique. D'autres composés, les lactones, dont la présence est constante, ont également une fonction acide, il s'agit surtout de la gluco-lactone. Le pH, qui peut varier de 3.2 à 4.5, est égal, en moyenne, à 3.9. La très grande acidité du miel est masquée par les sucres. Elle contribue notablement à la saveur.

4.4. Les protides

Les protides sont présents en faible quantité avec une teneur moyenne de 0.26% et la teneur en azote est négligeable de l'ordre de 0.04%. Il s'agit essentiellement de peptones,

d'albumines, de globulines et de nucléoprotéines qui proviennent soit de la plante, soit de l'abeille. Il existe également des acides aminés libres dont la proline ; qui provient des sécrétions salivaires de l'abeille ; est dominante. D'autres acides aminés sont présents d'une façon très générale : le glutamate, l'asparagine, le glycofolle, la phénylalanine et l'alanine. D'autre encore ont une présence accidentelle qui peut être liée à une origine botanique particulière comme : l'acide aspartique, arginine, cystéine, glycine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, sérine, tryptophane, tyrosine et valine.

4.5. Les sels minéraux

Les matières minérales ou cendres ont une teneur inférieure à 1%. Elle est d'environ 0.1 à 0.2% pour les miels de nectar, jusqu'à 0.5% pour les miels de miellats. Le potassium est toujours l'élément dominant. On y trouve également les éléments suivant : aluminium, argent, arsenic, baryum, béryllium, brome, calcium, césium, chlore, chrome, cobalt, cuivre, fer, lithium, magnésium, manganèse, mercure, molybdène, nickel, or, palladium, phosphore, potassium, rubidium, scandium, silicium, sodium, soufre, strontium, titane, vanadium, zinc, zirconium. Ces éléments minéraux ne sont pas toujours tous présents dans un miel déterminé. Par contre, certains le sont systématiquement dans tous les miels et souvent alors en grande quantité, notamment le potassium, premier cation intracellulaire indispensable à la vie. Les miels foncés sont globalement plus riches quantitativement en matières minérales que les miels clairs.

4.6. Les enzymes

De nombreuses enzymes se retrouvent dans le miel : l'invertase, l'alpha-amylase, la bêta-amylase, l'alpha-glucosidase et la glucose-oxydase capable de transformer le glucose en acide gluconique. Le miel contient aussi une catalase et une phosphatase. Ces diastases sont détruites par un chauffage exagéré du miel, qu'il y a donc lieu d'éviter si on veut bénéficier de leur action. Ainsi, leur dosage permet de détecter les fraudes liées au chauffage du miel.

4.7. Les lipides

Ils sont en infime quantité, sous forme de triglycérides et des acides gras notamment l'acide palmitique, l'acide oléique et l'acide linoléique.

4.8. Les vitamines

Le miel est très pauvre en vitamines. Il contient essentiellement les vitamines B1, B2, B3 (vitamine PP), B5, B6, C et accessoirement les vitamines A, B8 (vitamine H), B9, D et K.

4.9. Autres composés organiques

- Plus de cinquante substances aromatiques et volatiles sont présentes dans le miel. Ces substances sont surtout des alcools, des cétones, des esters et des acides notamment l'acide phénylacétique.

- Plusieurs facteurs antibiotiques naturels, regroupés sous le nom générique d'inhibine qui sont en fait de puissants bactériostatiques, c'est-à-dire qu'ils empêchent le développement des bactéries mais ne les tuent pas.
- De nombreuses autres substances biologiques diverses : un principe cholinergique proche de l'acétylcholine, un principe œstrogène, des flavonoïdes dotés de multiples et intéressantes propriétés physiologiques, des alcools et des esters, des matières pigmentaires, spécifiques à chaque miel, qui lui donnent sa couleur propre et enfin des grains de pollen qui en signent l'origine botanique.
- Le miel est considéré comme un produit pur. Mais il n'est pas exempt de produits polluants, présents en très faible quantité, comme le plomb et le cadmium. Le dosage de ces polluants dans le miel est particulièrement intéressant puisqu'il constitue un bon indicateur de pollution de l'environnement.
- L'H.M.F (hydroxyméthylfurfural) est présent dans les miels vieux ou qui ont subi un chauffage. Plus sa teneur est faible, meilleur est le miel. Le dosage d' H.M.F permet d'ailleurs de détecter si le miel a été chauffé et donc dénaturé. On peut ainsi détecter certaines fraudes.

5. Les différents types de miels

L'apiculture moderne propose différents types de miels d'origine florale et géographique, de saveur et d'aspect très variés

5.1. Selon l'origine florale

*Un miel est dit « monofloral ou unifloral » lorsque son origine provient en grande partie d'une seule variété de fleur.

*Un miel est dit « toutes fleurs ou polyfloral » lorsque son origine provient en grande partie de plusieurs variétés de fleurs.

5.2. Selon l'origine géographique

Certains miels polyfloraux ou monofloraux ont acquis une réputation particulière qui est liée à leur origine géographique comme :

- Le miel de romarin, aussi appelé « Miel de Narbonne », était considéré par les Romains comme le meilleur miel du monde. De couleur blanche et très rare en France, il est principalement produit dans les Corbières.
- Le miel de sapin des Vosges est aussi très réputé. De couleur très sombre, il est issu du miellat se déposant sur les branches de sapins.
- Le miel du Yémen, en particulier celui de la région d'Hadramaout où fleurissent des jujubiers (*Ziziphus zizyphus*), peut coûter jusqu'à 150 euros le kilogramme selon son niveau de qualité.
- Le miel de Pitcairn est considéré comme le plus rare et pur du monde car il n'y a pas de pollution dans l'île.

5.3.Selon les différences au niveau chimique

- La teneur en saccharose : qui est considérable pour certains miels comme le miel de luzerne et bruyère, et absence pour d'autres comme le miel de colza.
- Le mélézitose : sucre spécifique du miellat qui manque totalement dans le miel de fleurs.
- Les substances aromatiques au nombre de 50 qui peuvent permettre l'identification de l'origine des miels car elles paraissent provenir presque exclusivement de la plante.

6. Différences entre les miels de nectar et les miels de miellat

L'abeille butineuse récolte le miellat comme le nectar, au moyen de sa trompe, le transporte dans son jabot à la ruche où elle le remet à une abeille de l'intérieur. Des sécrétions y sont alors ajoutées et il est épaissi jusqu'à ce qu'il puisse être operculé comme miel mur.

Ce miel ressemble au miel de nectar par certaines caractéristiques : teneur en eau, en sucres, en vitamines, en diastases, etc...mais il présente des différences marquées qui révèlent l'origine différente de la matière première. Elles concernent particulièrement :

- La couleur
- Le spectre pollinique
- La teneur en sels minéraux
- L'acidité
- La conductibilité électrique
- Le spectre des sucres
- La teneur en substances antibactériennes.

6.1.La couleur

En règle générale, les miels de miellat sont nettement plus foncés que les miels de fleurs. Les colorations vont du jaune-brun (pin de montagne) en passant par différents nuances de brun et de rouge-brun (épicéa, feuillus), jusqu'au vert-brun à presque noir (sapin). Le miel de mélèze constitue une exception : il cristallise très rapidement dans les rayons en masse blanchâtre.

6.2.Le spectre pollinique

Du point de vue microscopique, les miels de miellat sont caractérisés par leur relative pauvreté en pollens et leur richesse en spores de champignons et en algues vertes microscopiques.

Les gouttelettes de miellat émises et tombées sur les feuilles ou les aiguilles sous-jacentes constituent des pièges gluants où viennent se coller le plancton aérien ainsi que les poussières atmosphériques. D'autre part des organismes végétaux épiphytiques (algues, champignons) qui colonisent déjà en partie les surfaces foliaires et les rameaux se développent grâce à la présence de miellat.

Dans le culot de centrifugation des miels de miellat, on retrouve donc ces « indicateurs de miellat » : amas d'algues vertes, spores de champignons et notamment de fumagines, pollens anémophiles principalement de graminées, particules de suie et de poussière, également des

éléments divers. On peut penser que la coloration foncée du miellat soit due à la présence plus ou moins abondante d'algues et de champignons, surtout la fumagine, de couleur noirâtre. Pour les miels de fleurs par contre, on trouve presque exclusivement des grains de pollens entomophiles. Il faut cependant remarquer que les miels de miellat purs n'existent pas, qu'il y a toujours mélange avec une faible quantité de nectar de fleurs que les abeilles ont récolté pendant la même période que le miellat. On y trouve donc des grains de pollens correspondants.

6.3.La teneur en sels minéraux

Pour évaluer la teneur en substances minérales d'un miel, on en calcine à haute température un certain poids et on pèse le résidu. D'une façon générale, il existe une relation entre la couleur des miels et leur teneur en cendres : les miels foncés en sont nettement plus riches que les miels clairs. Pour les miels de fleurs, la teneur en sels minéraux se situe entre 0.1% et 0.35%. Elle se trouve généralement au-dessus de 0.4% pour les miellats où elle dépasse souvent 1%. Les cendres des miels de miellat contiennent plus de potassium, de phosphore et de fer que celles des miels de fleurs qui sont plus riches en sodium et en calcium.

6.4.L'acidité

L'acidité du miel est due aux acides organiques qui proviennent soit du nectar ou du miellat, soit des sécrétions des abeilles. La « force de l'acidité » est exprimée en chimie par le pH. Elle est d'autant plus grande que le nombre qui l'exprime est petit. Les miels de miellat ont toujours un pH supérieur à 4, alors que pour les miels de nectar il est inférieur à 4.

6.5.La conductibilité électrique

Le miel contient donc des sels minéraux et des acides organiques qui ont la propriété, lorsqu'ils se trouvent en solution, de conduire le courant électrique. Cette caractéristique est mesurable de façon précise et donne des indications trèsintéressantes sur l'origine botanique des miels. En général, les miels de miellat présentent une conductibilité électrique trèsélevée moins égale à 10×10^{-4} Siemens/cm-1), alors qu'elle oscille entre 1 et 3 pour les miels de fleurs, exception faite pour les miels de bruyère et de châtaignier (7 à 13).

6.6.Le spectre des sucres

Les sucres représentent entre 95 et 99% de la matière sèche d'un miel. Grace aux techniques d'analyses modernes, principalement la chromatographie en phase gazeuse, on a pu identifier plus de 25 sucres différents dans le miel. Avec cette méthode, on peut distinguer avec sûreté un miel de nectar d'un miel de miellat et un miel de feuillus d'un miel de sapin. Les miels de miellat sont surtout caractérisés par une proportion plus importante de polysaccharides, la tréhalose, le raffinose et le mélézitoze notamment.

6.7. La teneur en substances antibactériennes

L'inhibine est le nom donné à un complexe de substances encore mal définies qui empêchent le développement de certaines bactéries et vont même jusqu'à provoquer leur mort.

L'action « antibactérienne » du miel est connue de longue date et on trouve de nombreuses mentions dans la littérature de l'antiquité et du moyen-âge : momification, conservation de graines, de frits, de viande, traitement de plaies etc...L'expérimentation scientifique a confirmé ces vertus.

Les recherches portant sur le staphylocoque doré, responsable de nombreuses infections (plaies purulentes, furoncles, etc..) ont montré que les miels de miellat possèdent en moyenne une activité antibactérienne nettement plus forte que les miels de fleurs. Non seulement ils inhibent le développement du germe pathogène, mais encore ils le tuent et ce jusqu'à un taux de dilution de 1/64. Différents miels de fleurs n'ont pas montré une telle activité.

L'inhibine du miel est sensible à la lumière et à la température. Mais les miels de miellat sont moins touchés par l'action de la température que les miels de fleurs. Des miels de miellat, conservés pendant 9 ou 10 ans à l'abri de l'air et de la lumière se comportent dans les tests bactériens comme des miels fraîchement extraits ; cependant que des miels de fleurs, conservés dans les mêmes conditions, se montrent complètement inactifs, à l'exception du miel de bruyère. Cette différence est peut être due à la nature des substances actives (H₂O₂, acides organiques, huiles étheriques, etc..), provenant en grande partie des plantes, mais aussi des sécrétions des abeilles.

Chapitre 2 : Technologie du miel

Comme toutes les denrées alimentaires dont la consommation n'est pas directe, le miel n'est mis en vente qu'après une préparation qui nécessite une série d'interventions humaines dont la technicité va conditionner la qualité finale du produit. Il s'agit de techniques simples mais, qui depuis une vingtaine d'années évoluent vers davantage de maîtrise des phénomènes secondaires qu'on pourrait qualifier d'accidents de conservation.

1. La désoperculation des cadres de miel

Cette étape consiste à enlever la pellicule de cire qui bouche les alvéoles remplis de miel. La désoperculation est la première phase du déroulement des opérations d'extraction du miel. La désoperculation nécessite l'emploi :

- D'un outil tranchant, couteau ordinaire, spécial ou mécanique (machine à désoperculer), chauffant ou non, susceptible de couper la cire sans la briser.
- D'un système de support du cadre plein de miel pendant cette opération.

1.1.Outil de travail

1.1.1. Les couteaux à désoperculer

Certains apiculteurs pensent que l'outil le plus simple pouvant être employé pour la désoperculation peut être un simple couteau de cuisine. On trouve dans le commerce spécialisé de nombreux modèles de couteaux à désoperculer, plus ou moins pratiques, qui peuvent se classer de la manière suivante :

Couteaux à froid : à lame droite ou dentelée, à bout droit ou courbée ;

Couteaux à lame chauffante : électrique ou vapeur ;

On peut également désoperculer avec un grattoir dit « herse » ou avec un « rabot ». Ces instruments peuvent être utiles mais ne permettent jamais un travail très rapide (figure 1).

1.1.2. Les machines

Depuis quelques années se répand l'usage de la machine à désoperculer, il en existe plusieurs modèles pouvant être classés en trois catégories :

Machine à lame vibrante simple. Ce type d'appareil ne permet la désoperculation que d'un côté de cadre à la fois (figure 2)



Machine à lames vibrantes doubles permettant de désoperculer les deux côtés des cadres à la fois (figure 3).

Machine rotative munie de deux axes placés de part et d'autre du cadre à désoperculer. Les axes animés d'un mouvement de rotation spécialement conçus à cet effet et assurant la désoperculation (Figure 4).

1.1.3. Les supports de cadres

Pour désoperculer un cadre, il est nécessaire que celui-ci soit fixé correctement. On peut employer à cet effet différents supports :

- Le chevalet à désoperculer, le plus anciennement connu, sur lequel le cadre est posé à plat ou simplement suspendu. Il existe des modèles à pieds que l'on pose sur le sol, près de l'extracteur et des modèles qui doivent être placés au-dessus d'un bac (Figure 5).



- La barre munie d'un pivot, beaucoup plus simple que le chevalet. Cette barre est placée au-dessus d'un bac récepteur d'opercules. Le pivot doit être assez pointu pour permettre une bonne fixation du cadre.

Notons que l'emploi des machines à désoperculer supprime l'utilisation de tout support, chevalet ou pivot.

1.2. Technique de travail

1.2.1. Au couteau

Le cadre doit être saisi par une main et placé verticalement sur le pivot. On procède à la désoperculation de la première face du cadre, soit de bas en haut (figure 6) soit de haut en bas (figure 7). La méthode de haut en bas serait plus rapide mais demande plus d'adresse. En travaillant de bas en haut, il est bon de pencher légèrement le cadre afin d'éviter que les opercules ne se replaquent sur le rayon. Le risque de coupure de la main tenant le cadre est aussi plus grand (on doit donc veiller à ce que la paume de la main ainsi que le pouce ne dépassent pas le bord du cadre, coté de la coupe). La première face étant désoperculée, il suffit de faire pivoter le cadre sur la pointe pour désoperculer aisément l'autre côté.

1.2.2. Au rabot

On passe le rabot une, deux ou trois fois suivant la largeur du cadre, d'abord sur une face puis sur l'autre, le cadre étant placé comme précédemment ou sur un chevalet. Les rabots sont généralement des appareils à lame chauffante soit électrique soit à vapeur.

1.2.3. A la machine

Le cadre est passé soit sur soit entre la partie coupante de l'appareil. Les parties en creux, non désoperculées à la machine, seront terminées à la main, à l'aide d'un couteau.

2. L'extraction du miel

Généralement, avant l'extraction, on pratique un préchauffage des hausses contenant le miel, opération qui ne provoque aucune dégradation du miel. La seule méthode dont on se serve encore à l'heure actuelle pour extraire le miel des rayons où les abeilles l'ont entreposé est la centrifugation.

Les cadres désoperculés sont déposés verticalement dans la cage d'un appareil appelé extracteur centrifuge. La rotation de cette cage imprime au miel une force qui l'oblige à sortir des cellules pour venir plaquer contre la paroi de la cuve dans laquelle tourne la cage. Le miel extrait s'écoule par une ouverture pratiquée au fond de cette cuve.

L'extraction du miel par la force centrifuge ne pose pas de problèmes techniques. La vitesse de rotation de l'extracteur, le temps d'extraction, la température à laquelle il convient de travailler sont des paramètres faciles à déterminer empiriquement.

L'extraction des miels dont la viscosité est anormale pose des problèmes particuliers. Les miels thixotropes tels que le miel de Callune ne peuvent être extraits par la force centrifuge qu'après rupture de l'état de gel dans lequel ils se trouvent à l'intérieur de la cellule. On a mis au point des machines spéciales qui introduisent dans les cellules une fine tige métallique. L'agitation produite par l'introduction de cette tige rompt le gel ; le gel momentanément fluidifié pourra réagir à la force centrifuge de l'extracteur.



3. L'épuration du miel

Le miel sortant de l'extracteur est un produit relativement impur car il contient en suspension de nombreuses particules de cire arrachées au rayon par le passage du couteau à désoperculer, du pollen, des parties d'abeilles, des poussières. Ces corps étrangers doivent être retirés du miel. Par ailleurs, au cours de la centrifugation, il s'est chargé d'une grande quantité d'air. Il est donc aussi semblable à une émulsion qu'il convient de soumettre à une décantation complète.

L'épuration est d'autant plus facile et rapide que la viscosité du miel est plus faible. On a donc intérêt à travailler à une température qui, tout en restant biologique, rende le miel plus fluide. Vers 30°C on peut trouver ce compromis entre une épuration convenable et une absence de dégradation par échauffement excessif.

3.1. La décantation

La décantation permet de séparer le miel des différentes impuretés qu'il contient en suspension par la simple différence de densité existant entre ces corps. La décantation se fait généralement dans des récipients appelés « maturateurs ». Un maturateur est un fût haut et étroit de grande capacité.

Cependant, si les fragments importants de cire remontent rapidement à la surface, il n'est pas de même des très petites particules, des microbulles d'air, des petites parcelles de suie provenant de l'enfumeur (points noirs). La remontée des grains de pollen isolés est encore plus lente. Pour cela la fluidité joue un rôle essentiel dans le processus de décantation. Plus la viscosité du miel est grande, plus lente sera la décantation. Celle-ci se trouve totalement arrêtée lorsque le miel est cristallisé.

La vitesse de déplacement des particules dans le miel est donnée par la formule de Stokes :

$V = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\rho - \rho_0) \cdot g}{\eta}$ où :

- v = vitesse de déplacement pour un objet sphérique
- r = rayon de la sphère
- η = viscosité du milieu
- $\rho - \rho_0$ = différences des masses spécifiques
- g = accélération de la pesanteur.

La viscosité du miel dépend de sa composition physique (teneur en eau) et de sa température. Il est donc nécessaire de connaître et au besoin de pouvoir maîtriser ces deux éléments. D'une façon générale, une fluidité suffisante (entre 25 et 50 poises) est acquise dès 18°C pour certains miels. L'apiculteur en déduira donc qu'il est inutile de chauffer ce miel à plus de 40°C. Au-delà de cette température, des phénomènes de dégradation de certains composants du miel peuvent rapidement intervenir et il est parfaitement inutile de prendre ce risque.

*Technique de travail

Dès que la quantité de miel récolté atteint une certaine importance, il est toujours souhaitable de procéder à une décantation grossière dès la sortie du miel de l'extracteur et des tables ou machines de désoperculation. Ce travail s'effectue au niveau d'un bac appelé « bac décanteur » ou encore « bac centralisateur » puisque il regroupe le miel provenant de la désoperculation d'une part, de l'extraction centrifuge d'autre part. Ces bacs comportent

généralement un tamis à mailles de 2 ou 3 mm destiné à retenir les plus gros débris de cire. Des jeux de cloisons mobiles laissent un libre passage du miel par le bas (voir figure) ont pour but de retenir les impuretés les plus nombreuses, permettant d'aspirer par pompe le miel du dernier compartiment dans un état de propreté aussi satisfaisant que possible.

De nombreux bacs décanteurs équipés d'un dispositif chauffant contrôlé par thermostat. Celui-ci permet le maintien du miel à décanter dans un état de fluidité suffisant pour permettre la remontée au maximum d'impuretés dans un temps aussi bref que possible. Cette fluidité acquise ($T=30-35^{\circ}\text{C}$) permet en outre un pompage plus aisé lorsqu'on utilise ce procédé pour transférer le miel vers les maturateurs.

Après passage du miel dans le maturateur, celui-ci est placé dans une enceinte à 28°C pendant 24 heures à quelques jours. Pendant ce temps, les corps étrangers se trouvant encore dans le miel remontent à la surface avec les bulles d'air. Une écume se forme à la surface du miel. On l'enlève avant de procéder au soutirage.

3.2. La filtration

Cette opération consiste à faire passer le miel au travers d'un tamis dont les mailles, aussi fines que possible, de 0.2 mm ont pour but de retenir le maximum de corps solide et les particules qui auraient échappées à la décantation. La filtration d'un miel doit se limiter à l'arrêt des particules visibles : cristaux, débris divers, pollens agglomérés, mais ne doit pas aller jusqu'à retenir les grains de pollen isolés qui font partie intégrante du miel.

Il est cependant possible d'accélérer le passage du miel au travers des mailles fines d'un tamis en toile de nylon en augmentant sa fluidité (autour de 40°C). Pour éviter cette surchauffe, deux autres techniques sont possibles : le filtrage sous pression ou le filtrage par centrifugation.

3.2.1. Le filtrage sous pression

On travaille avec des filtres qui nécessitent une pompe apte à les faire fonctionner. Ces appareils sont constitués d'un tube dans lequel est placée une cartouche filtrante (voir figure).

3.3.2. Le filtrage par centrifugation

Cette technique nécessite l'emploi des filtres rotatifs dont la cage est munie d'une chemise en toile de nylon. La centrifugation d'un miel avec passage au travers d'une toile de nylon permet d'épurer le miel rapidement et efficacement. Inconvénient majeur de ce type de matériel est qu'il incorpore dans le miel beaucoup de bulles d'air nécessitant une nouvelle décantation après filtrage.

4. La maturation du miel

Une fois filtré, le miel doit encore reposer 4 à 5 jours à une température de 20°C minimum pour faire remonter en écume l'ensemble des dernières impuretés. Cette écume est ensuite enlevée avant l'étape suivante. Les maturateurs hermétiquement clos sont entreposés dans un local frais et sec. Le miel va décanter et cristallisera.

5. Le conditionnement industriel du miel

Dans les conditions précédentes (cristallisation du miel), la mise en emballage de détail de 500g ou 1kg ne peut se faire qu'après refonte du miel cristallisé. Par ailleurs, pour obtenir des lots homogènes de plusieurs tonnes, l'industriel doit procéder obligatoirement au mélange de miels.

La refonte du miel doit se faire à température aussi haute que possible mais il faut atteindre au minimum 45 à 50°C pour que la cristallisation disparaisse totalement et que tous les sucres soient remis en solution. Le plus important n'est pas d'éviter les températures élevées, il faut avant tout que l'échauffement soit d'aussi courte durée que possible.

***Technique de travail**

Les maturateurs sont placés dans une chambre chaude régulée à 40°C. Le miel s'y séjournera environ 18 heures. Il ne doit pas être liquéfié. Si le miel est couvert de mousse, celle-ci doit être enlevée avant de défiger. Elle servira plus tard à la fabrication de pâtes stimulantes ou rendue aux abeilles dans le sirop de nourrissage.

Les meilleures installations mettent à profit la mauvaise conductibilité thermique du miel, les maturateurs remplis de miel pâteux sont ensuite couchés ou renversés au-dessus d'un égouttoir placé dans une chambre chaude régulée à 70 ou 80°C. Au fur et à mesure de sa refonte le miel s'écoule hors de la chambre chaude et tombe dans un maturateur où il se refroidit.

Dans ces conditions, le miel ne subit aucune altération. Le miel liquide ainsi obtenu ne contient plus de cristaux quel que soit la dimension des cristaux au départ. Le miel va refroidir complètement et va subir une pasteurisation ou une cristallisation dirigée.

6. La pasteurisation

Le miel ainsi fondu et homogénéisé est de plus en plus souvent, pasteurisé avant sa mise en emballage de détail. L'opération de pasteurisation s'impose à des miels susceptibles de fermenter, c à d ayant une teneur en eau supérieure ou égale à 19%. Pour les miels à teneur en eau normale, la pasteurisation est surtout valable pour ceux dont la quantité de glucose est comprise entre 28 et 35%.

On utilise un pasteurisateur à plaques assez semblable à ceux qui servent pour pasteuriser le lait. On pasteurise à 78°C pendant 6 à 8 minutes. Le miel est ramené à 40°C à la sortie du pasteurisateur.

Le but de la pasteurisation est double. Il permet de détruire les levures toujours présentes dans le miel et, par conséquent, de garantir la bonne conservation du produit jusqu'à sa consommation. Il permet également d'éliminer totalement les germes cristallins qui amorcent la cristallisation. Le miel pasteurisé, pour peu que sa composition soit favorable, restera liquide dans l'emballage de détail pendant au moins 6 mois. Dans les meilleurs cas il ne cristallisera jamais. La vente du miel liquide présentant un indiscutable avantage commercial, on comprend tout l'intérêt d'une pasteurisation bien conduite.

Il faut encore savoir que la pasteurisation éclair (flash pasteurisation) n'entraîne pas la formation d'H.M.F, ne détruit pas l'amylase, ne modifie en rien la composition ou la coloration du miel. Cependant l'invertase qui est particulièrement fragile est assez fortement réduite par le traitement.

7. La cristallisation dirigée

Le miel récolté à l'état liquide et débarrassé de ses impuretés par l'une des méthodes citées précédemment, peut cristalliser par la suite. Cette modification ne constitue pas une altération mais une simple transformation de l'état physique du produit et il s'agit d'un phénomène tout à fait naturel. Il est possible par une technique spéciale relativement récente, que le miel pasteurisé peut être soumis à une cristallisation dirigée à grains très fin, particulièrement appréciée du consommateur. Le miel obtenu est connu sous le nom de miel crémeux ou miel à tartiner.

7.1. Technique de travail

La technique consiste à mélanger un miel parfaitement liquide à un miel finement cristallisé dans la proportion de 90% de miel liquide et de 10% de miel cristallisé, cela à température moyenne de 32°C. Il s'agit de l'ensemencement du miel qui se fait dans un mélangeur de grande capacité. Ce mélange doit être homogénéisé en le remuant parfaitement. Toute la masse du miel doit être mélangée, car si une partie du miel qui ne sera pas mélangée cristallisera mal et on n'obtiendra pas un miel homogène. Le mélange doit se faire avec une vis sans fin capable de mettre toute la masse en mouvement, sans introduire de l'air dans le miel. La vis tourne lentement pour ne pas émulsionner le miel.

Les différentes manipulations terminées, le miel est maintenu à 32°C pendant 12 heures environ afin d'assurer un débullage rapide. A cette température, pour une durée aussi courte, les cristaux de la semence n'ont pas le temps de se dissoudre.

7.2. La mise en pot

12 heures après l'ensemencement, le miel est mis en pots. Etant toujours à 32°C sa fluidité est assez grande et l'emportage est rapide. Dès que les pots sont fermés, on les place dans un local frais dont la température sera aussi proche de 14°C. Dans ces conditions la prise du miel est rapide et celui-ci ne « coule » plus 4 à 5 jours en moyenne après l'emportage.

Ce sont les cristallisations les plus rapides qui donnent les meilleurs résultats et fait appréciable, ce type de cristallisation accéléré ne permet pas la remontée des microbulles d'air en suspension dans le miel évitant les phénomènes « arborescences » sur les parois transparentes des emballages et la formation de mousse blanche sur le miel. On conservera suffisamment de miel ensemencé afin de permettre le traitement d'un nouveau lot de miel.

8. Stockage et conservation du miel

Le miel est une substance de composition très complexe susceptible d'altérations rapides s'il n'est pas conservé dans de bonnes conditions. On ne peut stocker qu'un miel parfaitement « mur » à teneur en eau égale ou inférieure à 18% exception pour le miel de callune.

Le miel doit être à l'abri de l'humidité car en raison de sa forte hygroscopicité, il risque de se charger en eau dès que l'humidité relative de l'air ambiant est supérieure à 56%. Il y a donc nécessité de le stocker en emballages aussi étanches que possible.

La bonne conservation du miel doit porter non seulement sur le maintien de sa faible teneur en eau initiale mais encore sur la non altération de ses principaux composants chimiques. Il faut savoir cependant qu'il n'est pas possible de conserver au miel une stabilité totale et que le vieillissement opère toujours, plus ou moins une certaine modification du produit. Le

vieillessement d'un miel n'est pas fonction du temps seulement mais entre autre effet de produire une certaine dégradation des sucres entrant dans sa composition. C'est ainsi que se forme le H.M.F à partir du fructose.

Les deux agents principaux du vieillissement du miel sont le temps et la chaleur. On peut ralentir considérablement la dégradation d'un miel en le plaçant dans des conditions favorables de température. Des travaux de recherche ont montré que la formation de l'H.M.F est arrêtée ou moins extrêmement ralentie à une température aussi voisine que possible de 14°C. Cette température est alors considérée comme idéale pour la conservation du miel.

La dégradation des miels en cours de conservation porte également sur l'intensification de sa coloration, la diminution de sa teneur en glucose, l'augmentation de l'acidité, la diminution du taux de certaines diastases : amylase, invertase. L'importance de ces altérations sont dans la plupart des cas en relation directe avec les plus ou moins bonnes conditions de stockage et donc de conservation du produit.