

## LA TECHNOLOGIE DU MIEL (1)

PAR

**J. LOUVEAUX**

Station de Recherches apicoles, Bures-sur-Yvette.

Le miel est avant tout une denrée alimentaire. On a tant entendu parler de valeur thérapeutique du miel, d'usages diététiques du miel, etc... qu'on finit parfois par oublier que le miel est un aliment comme le pain ou le lait et qu'il doit parvenir sur la table du consommateur aussi appétissant, aussi bon, aussi agréable à voir et à déguster que possible. Il doit aussi garder toutes ses qualités diététiques et thérapeutiques, bien entendu.

Il existe pour le miel toute une technologie, comme il en existe une pour le pain, le lait, le beurre. Le but de cette technologie est de nous fournir les normes qu'il convient de respecter pour récolter, préparer et vendre un produit sain, digeste, agréable et de bonne conservation. Ce but est conforme aux intérêts du producteur et du consommateur. Il ne s'agit pas de dénaturer ou de sophistiquer un produit pour le rendre plus attrayant aux yeux du client, ainsi que voudraient le faire croire certains. Il s'agit seulement d'apporter à l'acheteur la garantie de qualité alimentaire qu'il est en droit de réclamer et, au producteur, la satisfaction de vendre à son juste prix un produit irréprochable.

Pour donner à la technologie d'un produit alimentaire les bases solides dont elle a besoin, il faut tout d'abord étudier avec le plus grand soin les caractères physico-chimiques de ce produit. Le pain que nous consommons à chaque repas, le lait et des centaines d'autres produits, ont fait l'objet d'un nombre considérable de travaux scientifiques et techniques dont certains peuvent paraître futiles, tels ceux portant sur la tartinabilité du beurre. C'est pourtant de la facilité avec laquelle l'Américain moyen étale son beurre sur le toast du petit déjeuner que dépend finalement une partie de la consommation. L'importance du problème n'a pas échappé aux producteurs de beurre américains qui ont le plus grand intérêt à ce que leur produit s'étale facilement sur le pain même lorsqu'il sort du réfrigérateur.

Comment résoudre de tels problèmes (et il en est de plus inattendus), sans une connaissance approfondie de la physique et de la chimie des produits alimentaires? Les problèmes qu'il faut résoudre pour le miel sont du même ordre que pour les autres denrées; c'est pourquoi je donnerai tout d'abord quelques indications sur ce que nous savons actuellement des propriétés physiques essentielles du miel, puis des progrès qui ont été faits dans ces dernières années dans la connaissance de sa composition chimique.

(1) Extraits d'une conférence faite en Avignon le 11 février 1959 devant l'Assemblée générale du Syndicat des Producteurs de Miel de France.

### Propriétés physiques

Toutes les propriétés physiques du miel n'ont pas la même importance en technologie. C'est pourquoi je n'ai retenu pour cet exposé que 5 propriétés essentielles : la densité, l'indice de réfraction, la chaleur spécifique, la conductibilité thermique et la viscosité. Une bonne connaissance de ces propriétés suffit pour diriger le travail de l'apiculteur dans la plupart des opérations qu'il a à réaliser sur le miel.

**Densité.** — La densité peut être définie comme le rapport entre le poids de l'unité de volume d'un corps et le poids du même volume d'eau pure à 4°C. La densité des liquides peut être connue de façon commode au moyen de densimètres, gradués directement en densités et qui sont des flotteurs de verre équilibrés au moyen de billes de plomb. Avec des liquides très peu visqueux, les densimètres donnent sans délai une indication qui est généralement suffisamment précise pour les besoins courants. Avec le miel il faut prendre beaucoup de précautions pour avoir un résultat précis. Le récipient doit être grand et large ; le miel doit être suffisamment fluide. La lecture ne peut se faire qu'après au moins une heure ou deux de stabilisation. Il y a toujours une certaine imprécision sur la position exacte du flotteur au-dessus du liquide. La densité du miel varie entre 1,39 et 1,44 ; on peut assez facilement apprécier le 4<sup>e</sup> chiffre après la virgule ; on possède par ailleurs des tables de corrélation entre densité et teneur en eau qui permettent de connaître avec une bonne approximation la teneur en eau d'un miel, simplement par la lecture de sa densité. Il s'agit là d'une méthode empirique et qui n'a rien d'absolu. En effet, le poids spécifique du miel peut varier légèrement selon l'origine florale et notablement selon la teneur en matières minérales. Pour l'apiculteur qui ne peut pas faire les frais de l'achat d'un réfractomètre la mesure de la teneur en eau des miels par l'intermédiaire de la densité est une méthode tout à fait utilisable.

**Indice de réfraction.** — Il s'agit d'une propriété optique. Tout corps transparent est caractérisé par un certain indice de réfraction. L'indice de réfraction est une constante qui dépend de la nature chimique du corps. Lorsque le corps en question est en solution dans l'eau, l'indice de réfraction varie régulièrement entre l'indice de l'eau pure et l'indice du corps pur. La mesure de l'indice de réfraction permet donc de connaître facilement la teneur en eau d'un produit en solution tel que le miel. Cette mesure se fait au moyen d'un réfractomètre. Il en existe différents modèles dont certains très peu encombrants tiennent facilement dans la poche et permettent de faire très rapidement des mesures dont la précision est satisfaisante. Une goutte de miel parfaitement liquéfié écrasée entre les prismes de l'appareil suffit pour une mesure.

Les tables de Chataway donnent la correspondance directe entre indice de réfraction et teneur en eau. Ces tables ont fait l'objet de critiques puis de révisions. On peut les considérer comme valables à 0,5 p. 100 près de la teneur en eau mesurée.

Le problème de la mesure de la teneur en eau des miels est un des plus épineux et des plus controversés. En fait, chaque méthode donne des résultats légèrement différents et il est difficile de choisir une méthode étalon. Pour les besoins courants, les méthodes de densité et d'indice de réfraction sont suffisamment correctes. On peut et on doit les utiliser en raison des services considérables qu'elles rendent en technologie du miel.

**Chaleur spécifique.** — Avec la conductibilité thermique la chaleur spécifique est de la plus grande importance pour la résolution des problèmes de chauffage du miel.

La chaleur spécifique d'un corps est la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'une unité de poids du corps. La petite calorie se définit comme la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° (entre 14 et 15°) la température de 1 g d'eau pure. Par définition la chaleur spécifique de l'eau est de 1. Celle du miel n'est, selon HELVEY (1954), que de 0,54 à 20° et pour une teneur en eau de 17 p. 100. Ce qu'il faut noter, et qui est très important, c'est qu'il faut environ deux fois moins de calories pour chauffer du miel que pour chauffer de l'eau.

**Conductibilité thermique.** — C'est la qualité d'un corps de permettre la diffusion de la chaleur dans sa masse. Elle est sujette à des variations considérables entre ce qu'elle est pour les métaux et ce qu'elle est pour des matériaux tels que le liège. On exprime la conductibilité thermique ( $\lambda$ ) en cal. cm. sec. °C. Pour l'eau pure, qui n'est pas très bonne conductrice de la chaleur :  $\lambda = 14 \times 10^{-4}$  à 20°

Pour le miel,  $\lambda = 1,29 \times 10^{-4}$  à 0° (pour un miel cristallisé à 20 p. 100 d'eau) soit près de 10 fois plus faible que pour l'eau. La cire est encore plus mauvaise conductrice :  $\lambda = 0,92 \times 10^{-4}$  à 15°.

Bien entendu la conductibilité thermique varie avec la température et la teneur en eau. On peut dire pratiquement que le miel à 20 p. 100 d'eau conduit très mal la chaleur à basse température. Il la conduit mieux à chaud et lorsqu'il est très riche en eau, bien que toutefois un miel très déshydraté retrouve brusquement une bonne conductibilité.

Les conséquences de cette mauvaise conductibilité thermique sont considérables en technologie du miel. Le miel est facile à chauffer puisqu'il a une faible chaleur spécifique ; par contre il diffuse très mal la chaleur qu'on lui communique, surtout à l'état solide où les courants de convection ne peuvent pas contribuer à équilibrer les températures. Il est donc impossible de réchauffer rapidement et sans surchauffe locale des masses de miel importantes. Par ailleurs, il faut noter que le miel chaud ne reviendra que lentement à la température ordinaire s'il est en masses compactes (1).

**Viscosité.** — Dans tous les problèmes de pompage, de circulation et de filtration la viscosité intervient comme un facteur essentiel. C'est pourquoi il est du plus haut intérêt de connaître les lois qui régissent cette viscosité.

Il convient d'abord de distinguer deux types de miels du point de vue de la viscosité : les miels normaux, qui suivent les lois de Newton sur la viscosité (miels newtoniens) et les miels anormaux (non-newtoniens) qui présentent du point de vue de la viscosité des anomalies qui peuvent être de plusieurs ordres ; en général il s'agit de miels thixotropes tels que les miels de Callune.

Pour les miels newtoniens la viscosité peut être reliée d'une façon correcte à la teneur en eau et à la température. Les courbes de viscosité établies par MUNRO (1943) sont tout à fait parlantes. On constate facilement à la lecture de ces courbes que la zone sensible se situe entre 30 et 45°. Au-dessous de 30° la viscosité est généralement trop élevée pour que le miel puisse circuler facile-

(1) Pour ces questions voir l'étude publiée dans les Annales de l'abeille (TRUBERT et LOUVEAUX, 1958) sur la refonte du miel.

ment dans les pompes, les canalisations et les filtres. Sa clarification par décanation ne peut pas non plus se faire normalement car les particules solides et les bulles gazeuses rencontrent dans leur déplacement une résistance trop considérable. Les lois de STOKES sur le déplacement des particules solides au sein d'un fluide font en effet intervenir la viscosité à côté de la différence des densités et du diamètre des particules. Nous reviendrons sur cette question à propos de l'épuration des miels. Une température de 35° paraît très suffisante pour assurer à un miel normal la fluidité dont il a besoin pour circuler dans les divers appareils de la miellerie.

Il en va tout autrement avec les miels non-newtoniens dont le prototype est le miel de callune. Ces miels sont doués de thixotropie c'est-à-dire que leur viscosité, au lieu d'être fixe, est susceptible de varier dans de larges limites dans le temps, sans que soient modifiées ni la température ni la teneur en eau. En fait, ils sont capables de passer de l'état de gel à l'état de sol sous l'action d'une agitation et de revenir ensuite progressivement à l'état de gel. Les caractéristiques physiques des miels de Callune ont fait l'objet d'études très poussées de la part de PRYCE-JONES (1953) qui a mis au point tout un appareillage physique fort compliqué pour mesurer les variations de viscosité des miels thixotropes. Le temps nous manque pour entrer dans le détail de ces expériences. Notons seulement que les miels de Callune ne sont pas vraiment thixotropes au sens que les physiciens attachent à ce mot. En effet, il n'y a jamais retour à l'état de sol parfait mais seulement une forte diminution de l'état de gel sous l'influence de l'agitation. Par ailleurs, on sait maintenant que la thixotropie du miel de Callune est due à la présence d'une protéine ; cette protéine a été isolée ; elle peut se trouver jusqu'à 1,8 p. 100 dans les miels de Callune les plus purs qui présentent au plus haut point les propriétés physiques dont il vient d'être question. Le chauffage et le vieillissement naturel ne font qu'accentuer les phénomènes de thixotropie. Du point de vue technologique les miels de Callune posent des problèmes très ardues mais très intéressants. Leur viscosité anormale interdit évidemment de les traiter comme des miels ordinaires.

Une anomalie moins connue de la viscosité est la dilatance. Les miels doués de cette propriété ont une viscosité qui varie considérablement en fonction de la vitesse d'écoulement. Plus cette vitesse est grande plus la viscosité est élevée, si bien qu'à la vitesse de rotation normale de l'extracteur le miel se présente sous forme de filaments à très haute viscosité qui finissent par bloquer l'extracteur. Les miels dilatants sont riches en dextrines à très haut poids moléculaire. Ce sont principalement des miels d'Eucalyptus.

Connaissant maintenant les propriétés physiques fondamentales du miel, nous sommes déjà mieux armés pour le travailler dans de bonnes conditions. Nous savons mesurer sa teneur en eau et nous savons que sa viscosité, donc la facilité avec laquelle il va circuler, dépend de cette teneur en eau et de la température. Par ailleurs, nous savons que le miel est relativement facile à chauffer mais qu'il conduit très mal la chaleur. Si le miel était un corps simple de la chimie, aussi nettement défini que le sucre ordinaire, nous pourrions nous arrêter là. Mais le miel est un produit extrêmement complexe ; c'est un produit biologique presque aussi compliqué que le lait. Il est donc très important de connaître sa composition de façon précise, ne serait-ce que pour savoir quelles seront les conséquences des opérations technologiques auxquelles nous nous livrons.

Voyons donc ce que l'on sait de la composition des miels ou plus exacte-

ment quels progrès on a fait dans ces dernières années dans la connaissance de cette composition car tout apiculteur sait en gros ce qu'on trouve dans le miel.

### Composition du miel.

En moyenne, le miel contient 20 p. 100 d'eau, 75 p. 100 de sucres divers et 5 p. 100 de constituants mineurs mais d'une extrême variété, dont l'inventaire est bien loin d'être achevé et qui donnent au produit sa véritable personnalité. Cela, tout apiculteur le sait, ou devrait le savoir.

Classiquement on considère que les *sucres* du miel sont le glucose, le lévulose et le saccharose. Glucose et lévulose proviennent de l'inversion du saccharose contenu dans le nectar par les enzymes (invertases) de l'abeille ; le saccharose du miel est considéré comme un reste ayant échappé à l'inversion.

En fait, les techniques de la chimie classique étaient totalement insuffisantes pour pousser plus loin l'identification des sucres du miel. Elles donnent des résultats globaux qui sont certes intéressants mais qui ne rendent pas compte de l'exacte réalité. Avec l'apparition de la chromatographie sur papier et son application aux sucres du miel, on s'est aperçu qu'ils sont bien loin d'être aussi simples qu'on le croyait. C'est ainsi que TÄUFEL et REISS (1952) ont trouvé dans le miel cinq sucres totalement inconnus jusqu'à ce jour et qui, pour l'instant ne portent pas encore de nom. Par contre, ils ont pu démontrer que le saccharose n'est pas aussi commun dans les miels qu'on le pensait avant eux. Il serait souvent confondu avec d'autres sucres avec lesquels il présente de grandes analogies chimiques. Plus récemment, WHITE et MAHER ont mis en évidence une dizaine de sucres nouveaux présents en petites quantités dans le miel et ils ont montré que les enzymes de l'abeille ne travaillent pas selon le schéma simple admis jusqu'alors : saccharose  $\rightarrow$  glucose + lévulose. Il y a en effet possibilité de transformation du glucose en lévulose par isomérisation sous l'influence des enzymes, si bien que le fameux rapport lévulose/glucose qui devrait être relativement fixe, se montre au contraire essentiellement variable.

Quant à ce qu'on appelle habituellement la dextrine du miel et que l'on obtient par précipitation par l'alcool, il est maintenant établi qu'il s'agit d'une fraction du miel particulièrement complexe et qui n'a probablement pas grand-chose à voir avec ce qu'on appelle habituellement dextrine.

Dans le domaine des *acides organiques* du miel, même progrès. WHITE (1957) travaille actuellement cette question par la chromatographie sur papier. Il a déjà mis en évidence une quinzaine d'acides organiques dont 4 seulement ont pu être identifiés. Le travail continue.

Pas de grands progrès à propos des *vitamines*. Le miel est pauvre ou même très pauvre en ce genre de substances. Il est bien établi maintenant que la valeur du miel ne saurait résider sans sa teneur en vitamines.

L'attention des chimistes se porte plutôt maintenant vers les *diastases* et on peut dire qu'il y a une véritable querelle des diastases du miel, querelle qui est bien loin de n'avoir qu'un caractère strictement académique. Il s'agit, en effet, d'une question qui intéresse tout le commerce du miel.

Que sont donc ces fameuses diastases? En bref, ce sont des corps très actifs présents à l'état de traces dans la matière vivante ; elles permettent à la température ordinaire les réactions chimiques indispensables à la vie. Ce sont donc des catalyseurs biologiques. L'invertase par exemple permet l'hydrolyse d'un sucre complexe, le saccharose en sucres plus simples pouvant être assimilés

par l'organisme. L'amylase dégrade l'amidon en sucres simples de façon analogue.

Les miels naturels sont, le plus souvent, riches en diastases, tant d'origine animale que d'origine végétale. Par ailleurs, ces diastases sont assez sensibles à la chaleur et elles sont détruites ou affaiblies par une élévation importante de température. On peut donc se servir des diastases comme indicateur de chauffage des miels ; tout miel chauffé exagérément présente des réactions diastasiques affaiblies ou nulles, ce qui permet aux pays importateurs de miel et qui ne tolèrent pas le chauffage, de refouler comme impropres à la consommation les miels n'ayant pas de réaction diastasiqne suffisamment positive.

Malheureusement, il y a des miels naturels (miel d'orange par exemple) qui présentent des réactions diastasiques nulles ou très faibles, même sans chauffage. D'où la querelle des diastases entre les pays importateurs qui exigent des miels une réaction diastasiqne positive comme preuve du non-chauffage et les pays exportateurs qui protestent contre une réglementation qui leur paraît abusive.

Que faut-il penser de cette querelle? Du point de vue diététique la présence ou l'absence de diastases dans un miel paraît assez indifférente. Il y a plus d'amylase dans une goutte de salive que dans quelques centaines de grammes de miel. Quant à l'invertase, elle est normalement sécrétée par nos glandes digestives et les traces d'invertase que contient le miel ne sont sans doute pas d'une bien grande utilité pour notre digestion. La plupart des sucres du miel sont d'ailleurs directement assimilables sans digestion et c'est là l'une des principales qualités du produit des abeilles.

Les diastases constituent donc plutôt un moyen, d'ailleurs contesté, d'apprécier la qualité d'un miel qu'une qualité proprement dite. Reste à savoir si un chauffage modéré du miel, tel qu'il apparaît nécessaire pour garantir un conditionnement correct, est vraiment nuisible au miel, et à quels constituants du miel. Nous ne trancherons pas cette question car tout dépend de ce qu'on entend par chauffage. KIERMEIER et KÖBERLEIN (1954) qui ont étudié l'inactivation des diastases par la chaleur ont soumis les miels à des chauffages de 2 à 4 heures ; les méthodes modernes ne font porter le chauffage que sur quelques minutes et nous sommes persuadés que dans ces conditions les dommages causés au miel sont insignifiants. Un gros travail de recherche reste encore à faire dans ce domaine, surtout en étudiant de très près les propriétés biologiques du miel.

Il resterait encore beaucoup à dire sur les autres constituants mineurs du miel : sels minéraux, colloïdes, protéines, pigments, substances odorantes, hormones, inhibine, etc... Des centaines de corps restent à identifier dans le miel à l'état de traces ; ce sont eux qui font que le miel ne ressemble à rien d'autre.

### Problèmes de technologie

Nous voici donc en possession de données qui nous permettent maintenant d'envisager les problèmes de technologie du miel avec de plus grandes chances de les résoudre de façon satisfaisante. Ces problèmes sont fort nombreux et nous ne pouvons pas les envisager tous aujourd'hui. Il convient donc de les classer par grands groupes et d'examiner pour chaque groupe les solutions les plus intéressantes. J'insisterai tout spécialement sur les problèmes qui sont à l'étude à la Station expérimentale d'apiculture de Montfavet.

Dans l'ordre chronologique des opérations se posent en premier lieu des

problèmes de *récolte et de manutention*. Comme il n'est plus guère fait usage de la presse pour extraire le miel, c'est uniquement l'extracteur centrifuge qui retiendra notre attention. Cet appareil semble avoir atteint un état de perfectionnement difficile à dépasser. Pourtant, nous savons tous que le taux d'extraction des appareils actuellement en service, s'il est voisin de 100 p. 100 n'atteint pourtant jamais ce chiffre qu'il est d'ailleurs théoriquement impossible d'atteindre. Mais, entre 95 et 99 p. 100 d'extraction par exemple, la marge est grande. Admettons qu'un perfectionnement apporté à l'extracteur classique, ou simplement à la façon de l'utiliser, permette d'augmenter ne serait-ce que de 1 p. 100 le taux d'extraction sans rien changer aux opérations habituelles, le producteur de 10 tonnes de miel aura récolté en fin de saison 100 kg de miel en plus qui ne lui auront rien coûté. Je suis persuadé qu'une simple étude rationnelle des taux d'extraction en fonction de la température du miel et de sa viscosité ainsi que de la vitesse de rotation de l'extracteur et du temps d'extraction permettrait d'améliorer le rendement de bien des installations où le temps de fonctionnement de l'extracteur est fixé un peu au hasard.

Ceci n'est qu'un point de la technologie de l'extraction. Il en est bien d'autres qui mériteraient une étude approfondie. Il y a notamment dans ce domaine une quantité très importante de problèmes qui relèvent surtout de l'organisation scientifique du travail. Une organisation rationnelle de la miellerie c'est-à-dire une disposition judicieuse des lieux, un calcul serré des temps d'extraction, une certaine mécanisation des manipulations de hausses par l'emploi des palettes, le pré-chauffage des hausses qui facilite l'extraction du miel, tout cela est de nature à élever sensiblement le rendement du poste d'extraction, donc de réduire le nombre d'heures de travail d'extraction par tonne de miel. Nous avons tenté à Montfavet de réaliser une installation aussi rationnelle que possible en ce qui concerne la disposition des lieux et l'emplacement des appareils les uns par rapport aux autres.

Tant que le miel reste à l'état liquide, le moyen le plus rationnel d'en assurer la manutention est de le faire circuler par pompage ou par gravité dans des canalisations appropriées. Il est anachronique de voir encore à l'heure actuelle des installations d'extraction de professionnels où le miel est repris au seau à la sortie de l'extracteur pour être versé dans le maturateur. Les canalisations doivent avoir un diamètre compris entre 3,5 et 8 cm ; elles peuvent être en plastique, en pyrex (solution récente et qui paraît fort intéressante) ou en inox, solution coûteuse mais parfaite. Le pompage ne peut se faire qu'au moyen de pompes à mouvements lents et à grandes ouvertures. Il faut proscrire tout système qui incorpore de l'air au miel.

On prévoit généralement à la sortie de l'extracteur un poste de filtration sommaire ; des tôles perforées arrêtent les débris de cire jusqu'à un diamètre de 1 ou 2 mm. Le miel est envoyé ensuite au maturateur.

Si nous considérons l'ensemble des opérations allant de l'extracteur centrifuge à la clarification du miel au maturateur nous constatons que partout nous avons besoin d'un miel fluide ou très fluide. Une bonne fluidité du miel ne peut être acquise que vers  $35^{\circ} \pm 5^{\circ}$  selon la teneur en eau. Cette température idéale n'est que fort rarement réalisée dans la miellerie. La température ordinaire des locaux d'extraction ne dépasse guère 20 à 25°, soit un déficit d'une dizaine de degrés environ ; sur la viscosité le gain apporté par un écart de 10° est considérable ; le miel est rendu 3 à 4 fois plus fluide. Le pré-chauffage des hausses peut se faire aisément dans un local doté d'un chauffage électrique réglé par thermostat. Il faut tenir compte de la très mauvaise conductibilité thermique

du miel et des difficultés de circulation de l'air chaud dans les hausses. Il y a donc lieu de prévoir un passage en chambre de pré-chauffage pouvant atteindre ou dépasser 24 heures. Des contrôles de température sont indispensables pour déterminer le moment où la masse du miel a atteint sa température optimale : pour chaque installation l'expérience peut seule faire connaître les temps de pré-chauffage à appliquer.

Si le local d'extraction n'est pas vraiment froid on peut considérer que la perte de chaleur entre désoperculation et sortie de l'extracteur est négligeable. Par contre, dès la filtration sommaire il faut réchauffer le miel et le ramener à 35° environ. Nous avons prévu pour cela un petit chauffage électrique auxiliaire sous la cuve de filtration. Nous avons ainsi la garantie que le miel ne sera pas trop visqueux au moment du pompage et qu'il arrivera aux maturateurs sans s'être sensiblement refroidi. Dans les maturateurs eux-mêmes la remontée des bulles d'air et des impuretés diverses ne peut se faire rapidement et correctement que si la viscosité des miels est faible. D'autre part, il est très important d'entraver toute cristallisation prématurée dans le maturateur, cristallisation qui s'amorce spontanément en quelques jours pour les miels de colza par exemple et pour quelques autres miels.

Nous pensons donc qu'il faut prolonger la chaîne de chaleur jusque dans les maturateurs. Nous savons d'ailleurs que le miel ne demande qu'à se maintenir chaud et nous n'avons besoin de prévoir pour les maturateurs qu'un chauffage d'appoint destiné à compenser les pertes, pourvu bien entendu que l'ensemble soit correctement calorifugé.

Dans notre installation de Montfavet les maturateurs sont calorifugés au moyen de plaques de frigolithe et réchauffés au moyen de petites résistances commandées par thermostat qui maintiennent toujours le miel à cette température de 35°, qui est celle de la ruche à 1 ou 2 degrés près et qui ne saurait donc être considérée par les esprits les plus chagrins comme une température inadmissible pour le miel.

À 35° la clarification est rapide, la cristallisation ne peut pas se faire et il n'y a pas non plus de fermentation. Seul inconvénient de l'opération, un léger changement de coloration du miel qui peut devenir perceptible au bout de quelques semaines. Cet inconvénient est mineur car nous ne considérons pas le maturateur comme un lieu de stockage mais uniquement comme le lieu où s'épure le miel par décantation.

Ainsi se trouve donc réalisée la chaîne de chaleur que nous considérons comme indispensable tout d'abord à une extraction facile et totale, puis à une épuration satisfaisante.

Les problèmes qui se posent désormais sont des problèmes de *stockage et de conditionnement*. C'est là qu'interviennent la teneur en eau et la nature du miel pour aiguiller l'apiculteur vers telle ou telle technique de conditionnement. Je crois que l'on peut poser comme principe général qu'un miel qui titre plus de 18 p. 100 d'humidité est voué à une fermentation plus ou moins rapide et plus ou moins importante selon le nombre de germes présents à l'origine et qui peut varier de 1 à plusieurs millions par gramme. Relativement faibles à 18 p. 100, les risques sont considérables dès qu'on atteint ou dépasse 20 p. 100. D'autre part les miels titrant plus de 18 p. 100 d'eau sont sujets à l'effondrement de la texture cristalline, c'est-à-dire à la séparation en deux phases, l'une liquide contenant le lévulose et qui fermente avec la plus grande facilité, l'autre solide constituée surtout de glucose.

La rectification de la teneur en eau des miels paraît devoir s'imposer dans



beaucoup de régions. Il m'est passé par les mains plus de 1 200 échantillons de miel au cours de ces dernières années et je peux affirmer que l'on rencontre des miels fermentés ou fermentescibles dans toute la France. L'apiculteur n'est d'ailleurs pas toujours responsable de cet état de choses : il est prouvé que le taux d'humidité pour lequel a lieu l'operculation est extrêmement variable (de 16 à plus de 26 p. 100) selon les conditions locales.

Deux solutions peuvent être envisagées :

1<sup>o</sup> Déshydratation du miel avant l'extraction par circulation d'air chaud dans les piles de hausses.

2<sup>o</sup> Déshydratation du miel extrait.

La première de ces techniques a été préconisée à plusieurs reprises par les Canadiens. JAMIESON signalait en 1950 avoir réduit de 1,8 p. 100 la teneur en eau du miel contenu dans une pile de hausses par circulation d'air à 40° et 33 p. 100 d'humidité relative. D'autres essais ont eu lieu dans le même sens et, à chaque fois, le procédé a donné satisfaction. Nous comptons le mettre en application à Montfavet. Le dispositif expérimental que nous devons utiliser comportera une section de réchauffage de l'air sur des résistances électriques, la circulation à l'intérieur des piles de hausses, enfin une section de déshydratation de l'air par condensation de la vapeur sur des éléments réfrigérés à très basse température. Le même air est constamment recyclé. L'analyse des eaux de condensation obtenues par dégivrage nous permettra de rechercher les parties volatiles du miel susceptibles d'être enlevées par le procédé. L'avantage du dispositif est de constituer à la fois la chambre de pré-chauffage des hausses à 35° et la chambre de déshydratation.

La seconde solution consiste à déshydrater le miel extrait par passage dans un appareil à évaporation sous vide. Les Néo-Zélandais, qui récoltent toujours des miels trop riches en eau pour pouvoir être exportés, ont mis au point un appareil qui leur donne toute satisfaction. Il comporte un cylindre en acier inoxydable à double paroi, chauffé à la vapeur et dans lequel on fait un vide de 68 mm de Hg. Ce cylindre est relié à un condenseur, où l'eau arrachée au miel se condense, et à une pompe à vide. Le miel humide tombe en pluie dans le cylindre et un ingénieux système de sas à dépression permet d'évacuer régulièrement le miel traité. L'appareil revenait à 150 000 Fr environ, il y a quelques années, mais il faut ajouter au prix de l'appareil celui d'un générateur à vapeur et d'une pompe. Les performances sont les suivantes : débit 3 à 4 kg de miel par minute. Réduction de la teneur en eau : 1 à 3,7 p. 100. Température du miel : 50° environ. En 8 heures de fonctionnement l'appareil retire 2 p. 100 de son eau à 2 500 kg de miel. Le fonctionnement cesse d'être satisfaisant si la teneur en eau dépasse 20 p. 100 au départ par suite d'une insuffisance du condenseur à laquelle il serait d'ailleurs facile de remédier. La qualité du miel traité est très améliorée.

Nous comptons installer à Montfavet un dispositif de déshydratation du miel extrait nettement plus simple que celui qui vient d'être décrit. La chambre de pré-chauffage et déshydratation serait directement utilisée. L'appareil est encore à l'état de projet. De toute façon, nous considérons qu'il n'y a pas de problème difficile à résoudre du côté de la déshydratation des miels. Les principes à appliquer sont connus et le matériel sera rapidement mis au point. Il faudra ensuite chercher à réaliser à un prix aussi bas que possible les installations courantes.

Le problème que nous allons maintenant aborder est celui de la *stabilisation de l'état physique des miels*. C'est un problème de présentation et de con-

ditionnement. L'enquête que nous avons faite l'an dernier sur la vente du miel à Paris nous a prouvé qu'il s'agissait d'une question grave pour l'avenir de la consommation du miel. La qualité moyenne des miels offerts dans le commerce ne peut être sensiblement améliorée que si nous adoptons des techniques modernes de stabilisation. Et là, deux possibilités s'offrent à nous : miel liquide ou miel solide. Selon que l'on choisit l'une ou l'autre solution les techniques à appliquer sont totalement différentes.

Le miel vendu à l'état solide doit présenter les qualités suivantes : propreté, stabilité de la cristallisation, résistance à la fermentation, granulation très fine et très homogène. La propreté doit pouvoir être obtenue par le simple passage au maturateur. La filtration poussée ne paraît pas indispensable. La stabilité de la cristallisation, c'est-à-dire la garantie que le miel ne se séparera pas spontanément en ses constituants solides et liquides, ne peut être acquise que par un examen sérieux de la composition du miel. Si on se base sur les travaux de JAMIESON, la stabilité de la cristallisation est fonction de la teneur en eau et du rapport lévulose/glucose. On peut résumer comme suit les résultats de JAMIESON : pour 16 p. 100 d'humidité, le miel est stable quel que soit le rapport L/G. Pour 17 à 18 p. 100 d'eau il faut un rapport L/G égal au plus à 1,14. Pour 19 p. 100 d'eau il faut un rapport L/G égal à 1,0. Pour 20 p. 100 d'eau et au-delà il n'y a plus de stabilité de texture assurée.

En conclusion, les miels ayant vocation pour être présentés à l'état solide sont des miels pauvres ou très pauvres en eau et riches en glucose. La faible teneur en eau est favorable à une bonne conservation. La pasteurisation ne s'impose pas du moment qu'on ne dépasse pas 17,5 à 18 p. 100 d'humidité. Pour obtenir la granulation très fine qui seule permet de vendre des miels agréables malgré leur cristallisation on appliquera bien entendu le procédé qui consiste à mélanger au miel à 25° une semence très fine, à remplir les pots de détail avec la masse pâteuse et à faire cristalliser en chambre fraîche à 14°.

Le miel vendu à l'état liquide doit présenter les propriétés suivantes : propreté très poussée, stabilité de l'état liquide pour au moins six mois, résistance à la fermentation. La propreté très poussée peut être obtenue, soit au maturateur, soit par filtration à chaud. La stabilité de l'état liquide et la résistance à la fermentation ne peuvent être obtenues que par la pasteurisation. Malgré les avantages de la pasteurisation et les garanties qu'elle offre on choisira de préférence pour la présentation à l'état liquide des miels riches en lévulose (rapport L/G élevé). Il ne faut pas oublier que pour une teneur en eau identique de 17 p. 100 la vitesse de cristallisation spontanée à 14° va de un mois pour un rapport L/G = 1,06, à 27 mois pour un rapport L/G = 1,55.

Le but de la pasteurisation est double : 1° tuer tous les germes susceptibles d'entraîner la fermentation du miel ; 2° détruire tous les cristaux primaires de glucose qui sont à l'origine de la prise en masse du miel.

On sait qu'un chauffage de 30 mn à 62° tue toutes les levures. Un chauffage de 5 mn à 76° a le même effet. Comme le temps de chauffage doit être aussi court que possible la seconde solution est préférable.

La destruction des cristaux primaires pose davantage de problèmes. Sans entrer dans le détail des travaux américains sur cette question, signalons que la pasteurisation doit être d'autant plus longue et la température d'autant plus élevée que la cristallisation à détruire est plus grossière. Pratiquement il faut considérer qu'une pasteurisation vraiment rapide n'est efficace que sur un miel préchauffé et qui arrive déjà très fluide à l'appareil. Le pasteurisateur n'est pas destiné à fondre le miel mais à changer de façon permanente son état physique.

Le bac de préchauffage s'impose. Dans notre installation il sera constitué simplement par le maturateur chauffé.

Le pasteurisateur A. P. V. dont nous avons fait l'acquisition est avant tout un appareil expérimental. Il comporte des perfectionnements qui n'auront pas leur place sur un appareil courant travaillant, non pas à la demande, mais dans des conditions rigoureusement fixées à l'avance.

Schématiquement, voici comment fonctionne notre appareil. Le miel liquide porté à 35° environ, donc pratiquement sortant du maturateur, est injecté sous pression par une pompe entre des plaques d'acier inoxydable poli empilées comme des assiettes et ne laissant entre elles qu'un espace de quelques mm. De l'eau chaude (température réglable entre 60 et 90°) circule également entre les plaques dans un circuit distinct et communique sa chaleur au miel en un temps très court. Cette eau chaude est obtenue au moyen d'un générateur de vapeur haute pression et d'un injecteur. L'injecteur est contrôlé de façon très rigoureuse par un dispositif thermostatique très précis, si bien que la température de pasteurisation fixée au départ ne varie pas de plus d'un degré. Un thermomètre enregistreur permet de suivre à tout instant les écarts de température éventuels, ce qui est très important dans une installation expérimentale.

Dès qu'il est amené à la température voulue (en principe 76°) le miel passe dans un circuit de chambrage qui permet de maintenir le produit à cette température pendant le temps nécessaire. Notre appareil doit comporter un jeu de tubes de pyrex permettant de réaliser des temps de chambrage variables. Dans une autre version qui est à l'étude le circuit de chambrage sera constitué par un filtre à mailles très fines capable d'arrêter les impuretés jusqu'à 1/10<sup>e</sup> de mm.

A la sortie du circuit de chambrage le miel retourne dans le pasteurisateur et passe dans un nouveau jeu de plaques qui sont réfrigérées par de l'eau à 20°. A la sortie de l'appareil le miel est tiède et peut être directement mis en pots. Le débit de l'appareil est de 250 kg/h, tout au moins pour le moment ; des possibilités de développement sont prévues afin d'ajuster exactement le débit du pasteurisateur à celui d'une machine à empoter.

Donc, rien de comparable entre la pasteurisation-éclair où tout est minutieusement contrôlé et un chauffage sans précaution, irrégulier, suivi d'un refroidissement lent qui maintient pendant des heures ou même des jours entiers le miel chaud au contact de l'air et de métaux plus ou moins oxydables. L'aspect du miel pasteurisé n'a pas changé ; la coloration est la même ; l'élimination des derniers cristaux lui donne une limpidité qu'il doit pouvoir garder pendant au moins six mois.

J'en terminerai maintenant en donnant le schéma idéal d'une installation de conditionnement de miel, telle que nous la concevons actuellement. Nous trouvons au début de la chaîne, la chambre de pré-chauffage des hausses et de déshydratation avant extraction. Puis, vient le poste d'extraction comportant la désoperculation. Au sortir de l'extracteur et de la cuve à désoperculer le miel est sommairement filtré, amené à 35°, pompé et envoyé au maturateur à température constante où s'achève l'épuration. Dans un premier type de cycle de conditionnement le miel est pasteurisé, mis en pots et conservé au froid ( + 4° ) jusqu'à la vente. Dans un second type de cycle il est envoyé au mélangeur de semence, mis en pots et conservé à 14° température idéale pour la cristallisation. On peut considérer encore plusieurs variantes, avec retour au déshydrateur, ou bien pasteurisation avant ensemencement (procédé Dyce classique), ou bien enfin chaîne continue de l'extracteur à la mise en pot dans la même journée la clarification étant remplacée par une excellente filtration.

Nous nous efforçons de réaliser progressivement la miellerie-type, qui d'ailleurs dans notre esprit ne peut être qu'une miellerie coopérative de façon à assurer un fonctionnement rentable à des appareils dont certains sont assez coûteux. Cette réalisation ne peut pas se faire d'un seul coup car les crédits d'équipement qui nous sont accordés ne nous arrivent pas en bloc, mais par fractions annuelles ne permettant à chaque fois que la réalisation d'une partie du programme. Nous pensons que l'année 1959 verra la mise en place de tout le gros matériel actuellement prévu. L'été 1960 devrait voir l'achèvement de nos projets actuels.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HELVEY (T. C.). — Study on some physical properties of honey. *Food Research*, **19** (3), 282-292, 1954.
- JAMESON (C. A.). — In « Bee Division, Central experimental farm Ottawa Progress report 1937-1948 », Ottawa 1950, 47 pages.
- KIERMEIER (F.) & KÖBERLEIN (W.). — Über die Hitzeinaktivierung von Enzymen in Honig. *Z. Lebensmit. Unters.*, **98** (5), 329-347, 1954.
- MUNRO (J. A.). — The viscosity and thixotropy of honey. *J. econ. Ent.*, **36**, 769-777, 1943.
- PRYCE-JONES (J.). — The rheology of honey. In « Foodstuffs, their plasticity, fluidity and consistency », Amsterdam 1953.
- TÄUFEL (K.) & REISS (R.). — Analytische und chromatographische Studien am Bienenhonig. *Z. Lebensmit. Unters.*, **94** (1), 1-10, 1952.
- TRUBERT (E.) & LOUVEAUX (J.). — Étude technique sur la fonte du miel cristallisé. *Ann. Abeille*, **1** (1), 19-30, 1958.
- WHITE (J. W. jr.) — The composition of honey. *Bee World*, **38** (3), 57-66, 1957.