

# Protéines, acides aminés essentiels, pain d'abeille et substituts de pollen : quels enjeux pour l'apiculteur ?

*Des ressources polliniques insuffisantes en quantité et en qualité, ou un nombre de ruches trop important sur une zone de butinage génèrent une carence en protéines chez les abeilles. Celle-ci peut déboucher sur un cannibalisme du couvain ou des colonies faibles et immunodéprimées. Cet article présente le rôle des protéines et acides aminés, ainsi qu'un état des lieux des choix disponibles, tout en rappelant que ces derniers ne sont pas exempts d'inconvénients ou de risques.*

par **François Penin**, Docteur ès sciences naturelles

**P**our se développer, survivre et se reproduire les abeilles comme les autres animaux ont besoin d'un régime riche et équilibré en de nombreux nutriments, notamment en acides aminés qu'elles trouvent dans les protéines. Le pollen est la principale source de protéines pour les abeilles. Lors de la digestion, ces protéines sont totalement décomposées en acides aminés pour être réutilisées pour la biosynthèse des protéines spécifiques de l'abeille. Cependant, la disponibilité et la variété des ressources polliniques nécessaires à la survie et au développement des colonies d'abeilles sont fortement altérées par l'intensification de l'agriculture, la modification des paysages et le changement climatique. Pour faire face aux périodes de disette, les propositions commerciales de produits protéinés se multiplient, mais apprécier leur intérêt et leur pertinence n'est pas chose aisée pour l'apiculteur. Les objectifs de cet article<sup>1</sup> sont de présenter (1) la biosynthèse, les besoins et le rôle des protéines chez les abeilles, et (2) les moyens de remédier aux carences en protéines par la supplémentation en pollen et pain d'abeille, ou sinon à l'aide de pâtes protéinées et substituts de pollen commerciaux.

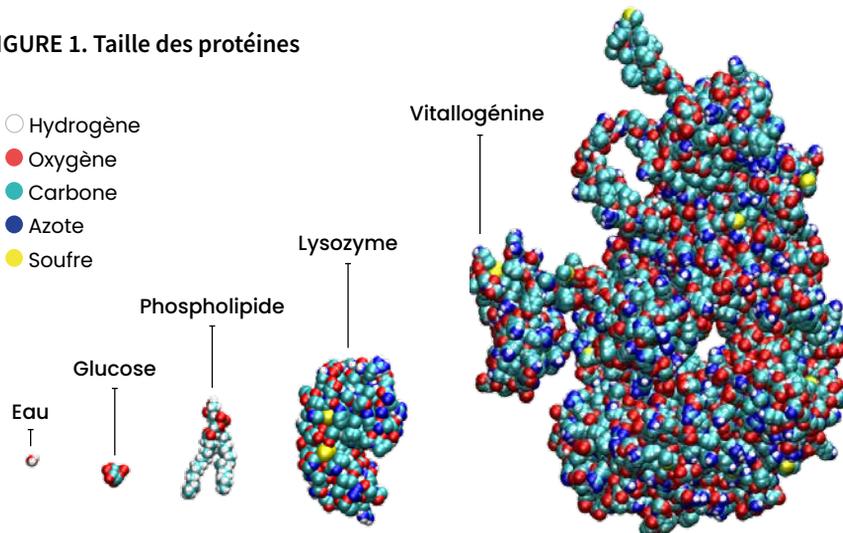
1 - L'auteur remercie Jean Riondet pour son incitation à écrire cet article et pour ses précieux conseils.

## Structure et fonction des protéines

Les protéines constituent l'essentiel de la machinerie des organismes vivants en assurant une multitude de fonctions dans la cellule vivante et dans les tissus. Les protéines enzymatiques (enzymes) catalysent les réactions chimiques de synthèse et de dégradation nécessaires au métabolisme cellulaire. Certaines protéines telles que l'actine et les collagènes assurent un rôle structurel au sein du cytosquelette ou des tissus (tendons, cartilages, os). D'autres protéines sont des moteurs moléculaires qui permettent la mobilité (myosine des muscles) ou sont impliquées dans le conditionnement de l'ADN chromosomique (histones), la régulation de l'expression génétique (facteurs de transcription), le métabolisme énergétique (ATP synthase) ou la transmission de signaux cellulaires (récepteurs membranaires).

Comparativement aux sucres et aux lipides simples, les protéines sont de très grosses molécules, comme illustrées dans la **Figure 1** avec le lysozyme et la vitellogénine chez l'abeille. Elles peuvent former des complexes moléculaires de très grande taille en s'associant entre elles et avec d'autres macromolécules comme de l'ARN dans les ribosomes qui sont les machines à fabriquer les protéines.

**FIGURE 1. Taille des protéines**

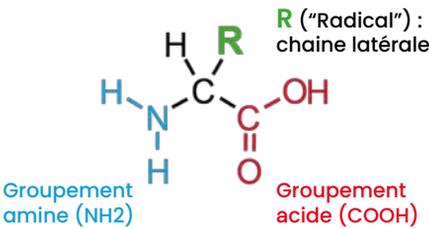


Comparaison des tailles atomiques des protéines lysozyme (126 acides aminés, 14127 Da) et vitellogénine (1770 acides aminés, 201050 Da) avec l'eau (18 Da), un sucre simple (glucose, 180 Da) et un lipide (phosphatidylcholine, 734 Da). La masse moléculaire est exprimée en Da (Dalton), 1 Da = 1 g/mol (gramme par mol).

Quelles que soient leurs origines biologiques (végétale, animale, bactérien, fongique ou virale), les protéines ne sont constituées que de 20 acides aminés différents (Figure 2). Des liaisons peptidiques relient les acides aminés en un enchaînement spécifique à chaque protéine (Figure 2).

FIGURE 2. Acides aminés et liaison peptidique

Structure générale des acides aminés



Code à une lettre des 20 acides aminés

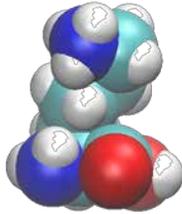
Alanine	A	Leucine*	L
Arginine*	R	Lysine*	K
Asparagine	N	Méthionine*	M
Aspartate	D	Phénylalanine*	F
Cystéine	C	Proline	P
Glutamate	E	Sérine	S
Glutamine	Q	Thréonine*	T
Glycine	G	Tryptophane*	W
Histidine*	H	Tyrosine	Y
Isoleucine*	I	Valine*	V

\* Acides aminés essentiels

Exemples :  
Glycine et Lysine

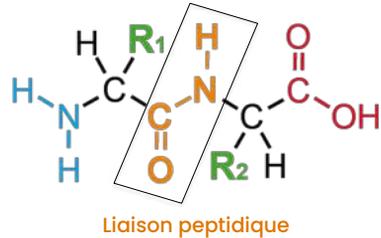


Glycine  
R = H



Lysine  
R = CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>

Liaison entre deux acides aminés



En haut à gauche : les 20 acides aminés qui composent les protéines ont la même structure générale constituée d'un groupe amine (NH<sub>2</sub>), d'un groupe acide carboxylique (COOH) et d'une chaîne latérale variable (R) dont la structure varie entre les 20 acides aminés. Les chaînes latérales (R) peuvent être neutres, chargées positivement ou négativement et hydrophobes ou hydrophiles.

En bas à gauche : la glycine par exemple est le plus petit acide aminé (R est un atome d'hydrogène), alors que la lysine est un des plus gros acides aminés constitué d'une chaîne latérale hydrophobe terminée par un groupement amine chargé positivement. Pour le code couleur des atomes, voir Figure 1.

En haut à droite : par commodité, on désigne chaque acide aminé par un code à une lettre. Contrairement aux 10 acides aminés en noir, les 10 acides aminés en rouge sont les acides aminés dit essentiels car l'abeille n'est pas capable de les synthétiser. Ils doivent donc être apportés par l'alimentation.

En bas à droite : une protéine est constituée d'un enchaînement d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques. La liaison peptidique est le résultat de la réaction de condensation entre la fonction acide carboxylique COOH du premier acide aminé et la fonction amine NH<sub>2</sub> du deuxième, avec comme produit secondaire une molécule d'eau H<sub>2</sub>O. La réaction inverse est une hydrolyse.

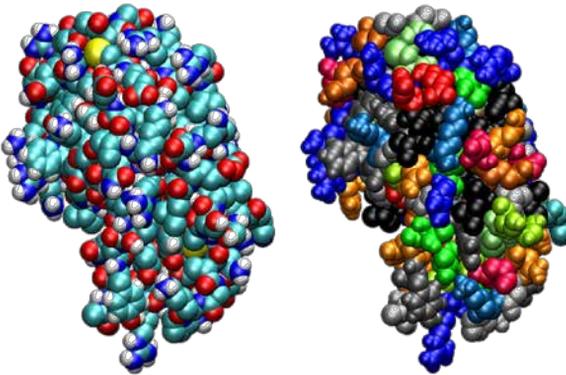
Cet enchaînement linéaire précis d'acides aminés détermine le repliement de la structure tridimensionnelle de la protéine et donc sa fonction biologique (Figure 3).

FIGURE 3. Structure des protéines

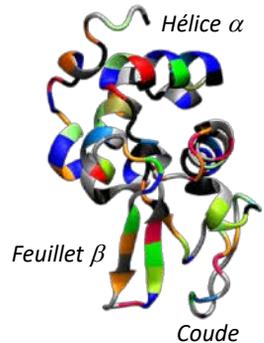
Séquence en acides aminés en code une lettre (structure primaire)

TEMVPRVCLGCEAASGCNITIGCDESVCGPFRITWNYWADA  
 GKPTLDDNLNENAYARCVNDPYCAARTVQSYMMKFAQDCNNDG  
 NINCDDFLRIHRLGGYGCSLNSKYENIYKLCMQTFEKQ

Structure atomique



Structure secondaire



En haut : la séquence linéaire en acides aminés en code « une lettre » d'une protéine est appelée structure primaire (ici, celle du lysozyme d'*Apis mellifera* constitué de 126 acides aminés).

Les couleurs des lettres correspondent aux propriétés physico-chimiques dominantes de chaque acide aminé et correspondent aux atomes de même couleur dans la structure atomique du lysozyme (au centre : code couleur des acides aminés : gros et hydrophobes, noir ; petit, gris clair ; gros, gris foncé ; bleu, basiques ; rouge, acides ; vert, petits et polaire ; orange, gros et polaire ; Cystéine, cyan)

La structure en bas à droite montre le « squelette » de la protéine, c'est-à-dire l'enchaînement des acides aminés sans leurs chaînes latérales.

On remarque des éléments de structure dite secondaire, notamment des hélices alpha, des feuillets bêta et des coudes dont l'existence est due à l'enchaînement particulier d'acides aminés *via* l'interaction de leurs chaînes latérales.

Ces interactions assurent également le repliement de la protéine sous une forme globulaire (dite aussi structure tertiaire ou 3D pour tridimensionnelle).

La séquence primaire d'une protéine contient toute l'information nécessaire pour assurer le repliement des structures secondaires et de la structure tertiaire.

Ce repliement est généralement spontanée pour les petites protéines mais fait appel à des protéines dite « chaperonnes » pour les grosses protéines.

Le mécanisme de repliement des protéines est principalement basé sur le fait que les acides aminés hydrophobes interagissent entre eux pour former un cœur hydrophobe qui sera entouré par les acides aminés hydrophiles, permettant ainsi la solubilité de la protéine en milieu aqueux.

La structure tridimensionnelle correcte est essentielle pour que la protéine puisse assurer sa fonction au sein de la cellule. L'échec du repliement dans la forme attendue produit des protéines inactives. De nombreuses maladies neurodégénératives sont considérées comme résultant d'une accumulation de protéines « mal repliées ».

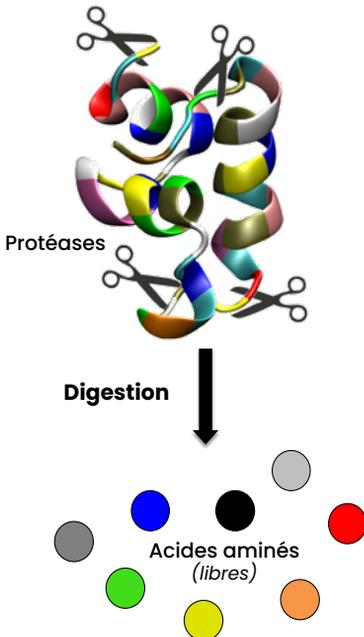
## Décomposition et biosynthèse des protéines

Les abeilles ainsi que tous les organismes vivants n'utilisent pas les protéines de leur alimentation en tant que telles, mais uniquement les acides aminés issus de la décomposition des protéines lors de la digestion (**Figure 4**) pour fabriquer leurs propres protéines. Les acides aminés libérés traversent la paroi intestinale et passent dans l'hémolymphe de l'abeille d'où ils seront transportés vers les sites de biosynthèse.

Ce processus est résumé de façon simplifiée dans la **Figure 5**. Les principaux sites de biosynthèse des protéines chez l'abeille sont :

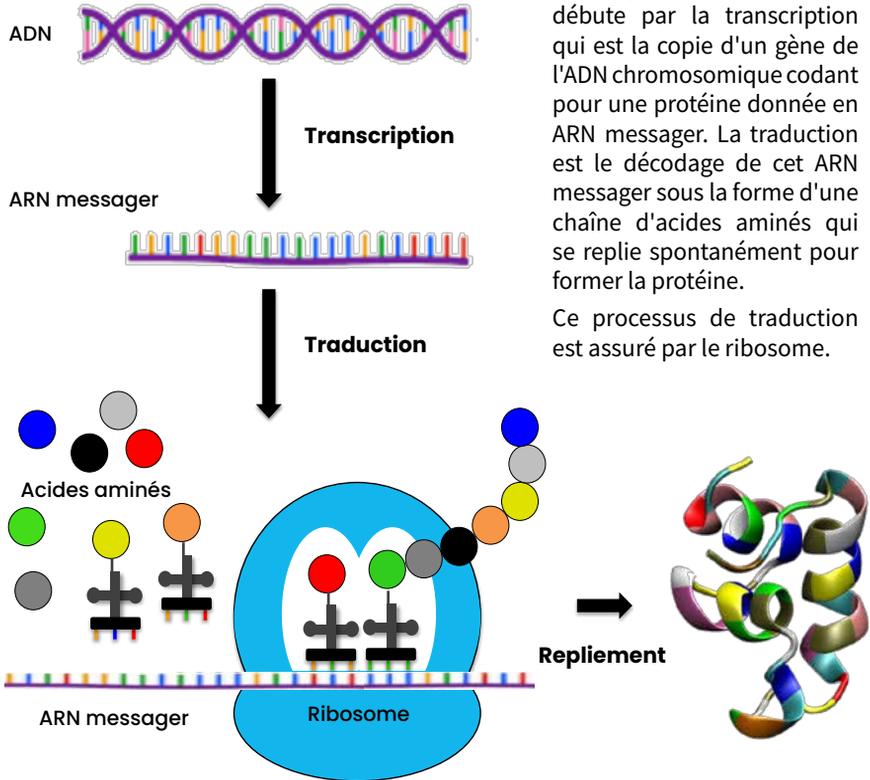
- les glandes mandibulaires et hypopharyngiennes de la tête qui produisent le lait d'abeille et la gelée royale chez les ouvrières âgées de 1 à 12 jours.
- les glandes cirières de l'abdomen chez les ouvrières âgées de 12 à 18 jours.
- le développement des muscles du vol chez les abeilles de plus de 18 jours.

**FIGURE 4. Décomposition des protéines en acides aminés**



La décomposition des protéines en acides aminés lors de la digestion est réalisée par des enzymes, les protéases (symbolisées par des ciseaux), qui vont couper les liaisons peptidiques entre les acides aminés (hydrolyse). On distingue les exopeptidases qui coupent les acides aminés aux extrémités de la chaîne peptidique et les endopeptidases qui coupent la chaîne peptidique à des endroits précis.

FIGURE 5. Biosynthèse des protéines



Source : l'auteur

### Quelques protéines importantes des abeilles

Le génome des abeilles code environ 11 000 protéines dont 2 300 environ ont été identifiées (Lipinski, 2022).

Le **lysozyme** (Figure 3) que l'on trouve en particulier dans le miel, le pain d'abeille et les opercules de cire, est un enzyme qui détruit la paroi des bactéries à GRAM positif comme la loque américaine. Il joue un rôle important dans l'immunité innée, tout comme les défensines qui sont des protéines antimicrobiennes de petites tailles.

La **royalisine**, par exemple, est une protéine de 95 acides aminés fortement synthétisée dans les glandes hypopharyngiennes et les glandes mandibulaires. On la trouve dans l'hémolymphe et la gelée royale qu'elle protège contre l'infection microbienne grâce à ses propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales (Cornara *et al.*, 2017).

La gelée royale contient 12 à 15 % de protéines, dont 82 à 90 % sont des membres de la grande famille des protéines de la gelée royale (*MRJP : Major Royal Jelly Proteins*). Ces protéines sont synthétisées dans les glandes hypopharyngiennes. Outre leur rôle nutritionnel, ces protéines jouent un rôle déterminant dans la différenciation de la larve en reine. La protéine MRJP1, appelée royalactine (432 acides aminés), est la glycoprotéine la plus abondante dans la gelée royale (environ 50 %). La **royalactine** est un facteur du développement des abeilles qui, de plus, semble jouer un rôle important dans les fonctions cérébrales des abeilles telles que l'apprentissage, la mémoire et le comportement social.

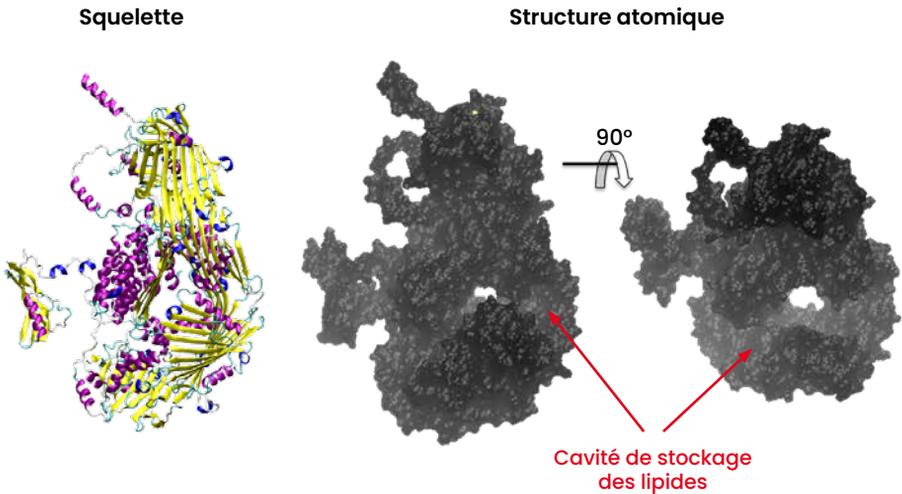
La **vitellogénine** est l'élément principal de la survie des abeilles (Bruneau, 2012 ; Kievits 2021). C'est une très grande protéine multifonctionnelle (1770 acides aminés) qui assure le transport et le stockage des lipides et joue le rôle de réserve de graisse durant le développement embryonnaire. Le modèle de structure 3D publié récemment (Leipart *et al.*, 2022) permet de visualiser la vaste cavité de stockage des lipides (**Figure 6**). On retrouve la vitellogénine dans tous les organes clés de l'abeille : l'hémolymphe, les ovaires, les glandes hypopharyngiennes, le cerveau. Le stockage de la vitellogénine dans les corps gras des abeilles permet leur passage à l'état d'abeille diurne que l'on trouve majoritairement en hiver (classiquement appelées « abeilles d'hiver », Kievits 2021 ; Guillemain *et al.*, 2023). La vitellogénine est directement impliquée dans le contrôle de la vie sociale de la colonie, en modulant la physiologie, le comportement, la longévité, ainsi que le système immunitaire des abeilles (Bruneau, 2012).

### **Les besoins des abeilles en protéines/acides aminés**

Le pollen est la source majeure de protéines pour la colonie d'abeilles (**Tableau 1**). Les nectars et miellats constituent des sources secondaires de protéines et d'acides aminés libres, notamment en période de fortes miellées. Le pollen est stocké dans la ruche sous forme de pain d'abeille.

Une larve d'abeille consomme 30 à 40 mg de protéines pour devenir ouvrière. Dans les 10 premiers jours après l'émergence, l'abeille nourrice consomme environ 60 mg de protéines pour le développement de ses glandes hypopharyngiennes ainsi que

FIGURE 6. Structure de la vitellogénine



À gauche : squelette de la vitellogénine montrant les éléments de structure secondaire (hélices alpha en magenta, feuillets beta en jaune, coudes en bleu).

À droite : deux vues de la structure atomique de la vitellogénine basculée de 90° pour visualiser la cavité de stockage des lipides. Le gradient de coloration décroissant indique l'éloignement des atomes correspondants.

Source : l'auteur

pour la production de lait d'abeille et de gelée royale. L'alimentation protéinée baisse ensuite rapidement et se stabilise à 20 % des besoins initiaux à partir de 15 jours après l'émergence (soit environ 1,2 mg/jour) (cf. revues de Bruneau 2006 et 2012 ; Gómez Pajuelo 2016 ; Lipinski 2022). Pour une ouvrière d'été de durée de vie de 40 jours, le besoin total en protéines, de l'état larvaire à sa mort, est donc de l'ordre de 140 mg.

Au total, une colonie consomme environ 6 kg de protéines par an, soit en moyenne 30 kg de pollen contenant en moyenne 20 % de protéines (**Tableau 1**). Mais une colonie consomme entre 12 et 40 kg de pollen par an selon la qualité des pollens, c'est-à-dire leur teneur en protéines d'une part et la teneur de ces protéines en acides aminés essentiels d'autre part.

Selon les espèces végétales, la teneur en protéines dans le pollen peut varier de 11 à 40 % (voire dans les cas extrêmes de 2,5 à 61 %, **Tableau 1**). Par exemple les pollens de maïs et de tournesol sont assez pauvres en protéines (15 % et 13 %, respectivement), les pollens de Colza et de Lierre sont relativement riches en protéines (24 % et 25 %, respectivement), et celui de phacélie particulièrement riche en protéines (28 %). Les pollens ayant moins de 20 % de protéines ne permettent pas un développement optimal des colonies qui doivent en récolter et en consommer 1,5 fois plus que des pollens à 30 % de protéines.

**TABLEAU 1. Ressources alimentaires de l'abeille**

Sources alimentaires	Sucres simples (glucose, fructose, saccharose)	Protéines et acides aminés (AA)	Lipides (Triglycérides, caroténoïdes, stérols)	Vitamines, Flavonoïdes, minéraux,...	Fibres et polysaccharides complexes	Eau
<b>Nectar</b>	≈ 40% (7 à 70 %)	≈ <b>0,4 %</b>	< 0,05 %	< 0,1%	traces	≈ 60 %
<b>Miellat</b>	≈ 68% (60 à 80 %)	< <b>1,2 %</b> < 0,6 % AA	traces	< 1,2 % (minéraux)	≈ 5% ( 1 à 10 %)	≈ 16%
<b>Pollen</b>	≈ 15% (20 à 40%)	≈ <b>20%</b> (11 à 40 %) (2,5 à 61%) AA : 1/10ème	< 5 % (1 à 20%)	< 0,5%	≈ 50 % (18 à 31 % fibres)	≈ 10 %

Source : l'auteur

Les valeurs rapportées dans ce tableau sont issues de nombreuses données disponibles dans la littérature.

De plus, la teneur en acides aminés essentiels des protéines est un facteur déterminant de la qualité des pollens. En effet, les abeilles ne sont pas capables de synthétiser 10 acides aminés (**Tableau 2**, 1<sup>re</sup> colonne) qu'elles doivent en conséquence obligatoirement trouver dans leur alimentation. De Groot, en 1953, a déterminé les besoins minimaux en acides aminés essentiels à la survie des abeilles (en % par rapport à l'ensemble des acides aminés, **Tableau 2**, 2<sup>e</sup> colonne). On considère que la gelée royale (**Tableau 2**, 3<sup>e</sup> colonne) contient le rapport idéal en acides aminés essentiels pour la croissance larvaire. Ce rapport est remarquablement constant malgré la consommation de différents pollens et la provenance de différents pays (Oliver 2021). Le déséquilibre en acides aminés essentiels impacte essentiellement les nourrices dont les glandes hypopharyngiennes ne se développent pas complètement. En pratique, les abeilles doivent récolter et consommer 2 fois plus de protéines ayant un taux de tryptophane de 0,5 % que de protéines avec un taux de 1 % de tryptophane.

Les analyses d'acides aminés de nombreux pollens ont montré qu'aucune variété de pollen n'est capable d'apporter tous les acides aminés essentiels dans les bonnes proportions. Il est donc important que les abeilles trouvent dans leur environnement des ressources de pollen variées pour satisfaire à tous leurs besoins en acides aminés essentiels, au minimum 4 à 5 variétés (Gómez Pajuelo 2016), ce qui correspond à des couleurs différentes de pain d'abeille dans la ruche (Figure 7). L'abondance et la diversité des pollens ont un impact direct sur la santé des abeilles en stimulant l'expression des gènes associés au métabolisme et aux fonctions immunitaires (Alaux *et al.* 2010 ; cf. Thèse de Di Pasquale 2014).

**TABLEAU 2. Acides aminés essentiels**

Acides aminés essentiels	Valeurs de références (De Groot, 1953) (%)		Teneur en acides aminés essentiels des principales sources de protéines utilisées dans les pâtes protéinées (%)					
	Minimum nécessaire	Gelée royale	Soja (farine)	Caséines du lait	Blanc d'oeuf	Levure de bière	Spiruline	Chlorella
Arginine	3	5,1	7,7	3,7	4,8	4,8	7,3	7,3
Histidine	1,5	2,2	2,3	3	1,9	2,4	1,9	2,2
Isoleucine	4	5,3	5,3	5,1	5	4,9	5,6	4,7
Leucine	4,5	7,7	8,0	9	7,2	7,2	8,7	10
Lysine	3	6,7	6,6	3,8	5,1	7,3	5,3	7,1
Méthionine	1,5	1,9	1,4	2,7	3,2	1,6	2	2,1
Phénylalanine	2,5	4,1	5,1	5,1	5,2	4,8	4,9	5,5
Threonine	3	4	3,9	4,3	3,7	4,5	3,4	5,2
Tryptophan	1	1,3	1,5	1,3	1,3	1,0	1,6	2,1
Valine	4	6,7	5,3	6,6	6,2	6,0	6,1	6,5

Source : l'auteur

Le rapport idéal d'acides aminés essentiels pour une croissance optimale des abeilles rapporté par de Groot (1953) ) a pour l'essentiel été confirmé dans une étude récente (Oliver 2021). Ces valeurs ainsi que la proportion d'acides aminés essentiels dans la gelée royale sont comparées à celles rapportées pour les principales sources de protéines utilisées dans la préparation des pâtes protéinées. Les valeurs indiquées dans les cases blanches satisfont au minimum nécessaire en acides aminés essentiels, celles des cases rouges ne satisfont pas au minimum nécessaire, et celle des cases vertes satisfont aux teneurs observées dans la gelée royale. Il faut souligner que les contenus en acides aminés rapportés pour les différentes sources de protéines sont assez variables selon leur origines et leurs modes de préparations. Les valeurs rapportées dans ce tableau ne sont données qu'à titre indicatif.

Le pollen récolté par les butineuses est stocké sous forme de pain d'abeille. Les pelotes de pollen sont enduites de salive puis tassées dans les alvéoles qui sont ensuite recouvertes par une fine pellicule de miel. Les conditions ainsi créées aboutissent à la fermentation du pollen grâce aux ferments lactiques apportés par la salive des abeilles. Cette fermentation augmente la digestibilité du fait de la dégradation des parois du pollen et de l'hydrolyse des protéines en acides aminés. La fermentation lactique réduit la teneur en bactéries et champignons pathogènes et permet un ensemencement de l'intestin des jeunes abeilles avec ces bactéries nécessaires pour la digestion. Pour un résultat optimal, le pain d'abeilles nécessite 10 à 12 jours mais les abeilles le consomment dès 3 à 4 jours car elles préfèrent le pollen frais. La conservation du pain d'abeille dans la ruche est d'environ 2 mois. Il perd ensuite progressivement ses propriétés.

**FIGURE 7. Le pain d'abeille**



◀ Surface des cadres...

... et vue en coupe.



Les différentes couleurs correspondent à différentes variétés de pollen.



© J.-C. Boudinot

## Carence en protéines et supplémentation des abeilles

Si les nourrices ne trouvent pas les protéines nécessaires à leur alimentation, leurs glandes hypopharyngiennes ne se développent pas complètement et leur production de gelée royale ne permettra pas un développement normal du couvain et une alimentation correcte de la reine. Les jeunes abeilles seront déficientes et la ponte de la reine sera réduite et pourra s'arrêter. Le manque de protéines peut entraîner le cannibalisme du couvain, qui devient une source palliative de protéines. De plus, les carences en protéines peuvent entraîner une immunodéficience dans la colonie avec le développement de maladies bactériennes (loques) et/ou de mycoses (*couvain plâtré avec *Ascospheera apis**). En pratique, on considère qu'il y a une insuffisance quantitative de protéines si les ruches ont moins d'un cadre de pain d'abeille en période d'élevage (Gómez Pajuelo, 2016). (Voir les causes des carences dans l'encadré ci-dessous).

Pour remédier aux périodes de carence en pollen, il est nécessaire de supplémenter les abeilles en protéines. Cette supplémentation peut également être utilisée pour : dynamiser les colonies en fin de saison pour l'hivernage ainsi qu'à la sortie de l'hiver ; stimuler les essaims artificiels et les nucléi ; renforcer les colonies affaiblies (remérage, prélèvement de cadres) ; ou augmenter le couvain avant la miellée (40 jours avant les floraisons).

### Cause des carences

**Les causes de carence en protéines sont essentiellement d'ordre environnemental et saisonnier :**

- **Emplacement du rucher :** ressources polliniques insuffisantes en quantité et en qualité, nombre de ruches trop importantes.
- **À la fin de l'hiver :** le développement des colonies fin janvier - début février se fait essentiellement sur leurs réserves de pollen qui doivent donc être abondantes à l'automne.
- **Au printemps :** une carence en protéines apparaît souvent pendant un

printemps froid ou pluvieux, les stocks de protéines sont consommés en 3 ou 4 jours seulement. Les nourrices utilisent alors leurs réserves de vitellogénine. Une colonie peut rapidement basculer de développement rapide vers le cannibalisme, ce qui se traduit par du couvain mosaïque.

- **En été :** la chaleur, les périodes de canicule et de sécheresse entraînent une absence de floraison et d'entrée de pollen à un moment critique : en effet, les œufs qui donneront les abeilles d'hiver à longue vie sont pondus entre le début du mois d'août et la mi-septembre.

La supplémentation en protéines peut être réalisée par apport de pollen et de pain d'abeille, ou à défaut à l'aide de pâtes protéinées / substituts de pollen bien que ceux-ci ne répondent pas complètement aux besoins des abeilles (Di Pasquale 2014 ; Fournier 2022 ; Lipinski 2022).

### **Pollen et pain d'abeille**

Il est important de savoir que les abeilles régulent leur réserve de pollen dans la ruche (homéostasie). Si on enlève du pain d'abeille, elles vont compléter le stock ; mais si on en ajoute elles l'utilisent jusqu'à revenir au stock initial (Fewell et Winston, 1992). Il est donc possible de récolter du pollen avec des grilles à pollen ou de prélever des cadres de pain d'abeille pendant l'abondance printanière pour le redonner aux colonies en période de carence.

Le pollen frais est un produit fragile, mais il peut être conservé pendant un an par congélation sous vide ou en atmosphère inerte (sans oxygène) pour éviter l'oxydation des lipides et protéines, ou en mélange avec du miel. Le séchage est à éviter car le pollen sec perd beaucoup de ses propriétés. Le pollen décongelé ou en mélange avec du miel peut être redonné directement aux colonies dans une soucoupe à côté du trou de nourrissage. Il peut également être utilisé seul ou en mélange avec d'autres sources de protéines dans des pâtes protéinées.

Il est unanimement reconnu que la meilleure méthode pour assurer le développement des colonies est de leur redonner du pain d'abeille pendant les périodes de pénurie en pollen.

Le pain d'abeille se dégrade hors de la ruche mais il est possible de le conserver un an par congélation, de préférence sous vide. Il est également possible de gratter le pain d'abeille sur les cadres et de le mélanger avec du miel liquide tiède dans un rapport 1:5 (Lipinski 2022). Le mélange peut être conservé au froid ou congelé sous vide, et peut être redonné aux abeilles à côté du trou de nourrissage. Il est cependant plus commode de redonner des cadres de pain d'abeille décongelés aux colonies en période de carence en pollen (juillet août) ou pour compléter les réserves hivernales (septembre octobre). En fin de saison, il est fréquent d'avoir des cadres de hausse contenant du pain d'abeille. Ces cadres peuvent être placés dans une hausse sous le corps de ruche pour que les abeilles l'utilisent, avec l'avantage qu'ainsi nettoyés les rayons feront moins l'objet de l'attaque des fausses teignes.

“

**La meilleure méthode pour assurer le développement des colonies est de leur donner du pain d'abeille pendant les périodes de pénurie en pollen.**



Pain de candi additionné de pollen, albumine, vitamines et sels minéraux, qui devra être posé sur le trou de nourrissage du couvre cadre.

© Jean Riondet

## Pâtes protéinées

Les pâtes protéinées sont un mélange de protéines avec un sucrant (sucre, sirop ou miel) et de l'eau pour ajuster la texture. Les principales sources de protéines déshydratées utilisées sont :

- la farine de soja déshuilé (70 % protéines, 15 % glucides, 10 % fibres, 2-5 % d'huile)
- la levure de bière (40-50 % de protéines, 20 % fibres, 10 % oligoéléments)
- les caséines du lait (98 % de protéines)
- le blanc d'œuf (88 % de protéines, Ovalbumine et Lysozyme)
- les algues (*Spiruline*, *Chorella* : 60-70 % de protéines, 2 % lipides, 5 % fibres, )

Pour être consommée efficacement par les abeilles, une pâte protéinée doit contenir entre 6 % et 25 % de protéines et répondre à de nombreux critères (Lipinski 2022) : elle doit être (1) attractive (*pollen + saccharose*) ; (2) appétente (*présence d'huile, moins de 6 %*) ; (3) absorbables (*granulométrie  $\leq 35 \mu\text{m}$  de diamètre*) ; (4) digestibles (*au moins 70 %*) ; (5) avoir une bonne texture ; (6) contenir des vitamines et sels minéraux (mais moins de 1 %) ; (7) être acide (*idéalement pH 4,5, acide acétique du vinaigre blanc*) ; et (8) avoir la bonne balance en acides aminés essentiels. Concernant ce dernier point, le **Tableau 2** rapporte les teneurs en acides aminés essentiels contenus dans les principales sources de protéines. On constate que les protéines

de soja sont déséquilibrées par rapport aux besoins minima de l'abeille en acides aminés essentiels (teneur insuffisante en Méthionine – case surlignée en rouge). Les autres sources de protéines couvrent les besoins minimaux de l'abeille (cases blanches) et dépassent même les teneurs de certains acides aminés essentiels observées dans la gelée royale (cases vertes). Selon la nature et leurs modes de préparation, ces sources de protéines peuvent apporter des vitamines, sels minéraux et autres nutriments importants pour l'abeille. Les protéines d'algues Spiruline et Chlorella introduites dans les années récentes sont particulièrement riches en acides aminés essentiels. Elles contiennent toutefois de la chlorophylle qui peut donner une coloration verte au miel, en cas de stockage dans les alvéoles des cadres de ruche.

Il existe une pléthore de recettes maison de pâtes protéinées mais il est difficile d'avoir une idée claire de leur pertinence par manque d'essais comparatifs. Le calcul du pourcentage de protéines se fait sur la matière sèche, en prenant en compte le pourcentage de protéines dans le ou les additif(s). Par exemple, pour réaliser une pâte protéinée à 10 % de protéine avec du sucre et de la levure de bière (50 % de protéines), on mélangera 0,4 kg de levure de bière à 1,6 kg de sucre et de l'eau jusqu'à obtenir la texture de la pâte à pain. Cette pâte sera ensuite emballée avec un film alimentaire, ou placée sous vide, pour éviter la déshydratation. Le déficit relatif de certains acides aminés essentiels peut être compensé en mélangeant les sources de protéines. Dans ce but, Randy Oliver propose un calculateur d'acides aminés essentiels pour la préparation de pâtes protéinées équilibrées ([scientificbeekeeping.com/7333-2/](http://scientificbeekeeping.com/7333-2/)).



© Jean Riordet

Il est indispensable de bien respecter les critères de qualité des pâtes protéinées décrits plus haut, ainsi que la qualité et la provenance des sources de protéines, notamment celle du soja. En règle générale, les abeilles ne digèrent pas facilement les suppléments protéinés, parfois moins de 35 % pour les protéines de soja (Lipinski, 2022).

**Cette pâte protéinée de couleur marron contient des acides aminés, des huiles essentielles, du sucre. Ce type de complément en plaque se pose sur la tête des cadres.**

Notons enfin que les préparations maison doivent être utilisées rapidement pour éviter les risques de fermentation et de moisissure.

Les préparations commerciales de pâtes protéinées contiennent en général 10% de protéines ainsi que des conservateurs antimicrobiens (acides sorbique et propionique) et des antioxydants (Vitamine C) pour prévenir les risques de contamination microbienne. Ces préparations sont en général bien équilibrées en protéines, lipides, vitamines, oligo-éléments et nutriments divers et ont fait l'objet de tests auprès d'apiculteurs professionnels. Il est cependant impossible d'accéder à ces tests et donc de comparer l'efficacité des différentes préparations. De plus, leurs compositions en protéines et acides aminés sont souvent vagues et peu informatives.

### **Quantité de protéines à apporter aux colonies**

De façon globale, une colonie consomme environ 6 kg de protéines par an, soit au minimum entre 16 et 22 g par jour selon le mode de calcul ( $6\,000\text{ g}/365\text{ jours}$  et  $6\,000\text{ g}/9\text{ mois}$ ). Une plaque de 1 kg de pâte protéinée à 10 % apporte 100 g de protéines. Elle couvre donc en moyenne l'équivalent d'une semaine de consommation de protéines. Cependant, en période apicole, la quantité de protéines nécessaire est variable selon la force de la colonie et les conditions externes. Selon Lipinski (2022), une colonie sur 3 cadres a besoin de 50 g de protéines par semaine, alors qu'une colonie forte a besoin de 500 g de protéines par semaine. En pratique, si les réserves de miel sont suffisantes, il est bon de proposer de petite quantité de pâte protéinée et de vérifier régulièrement leur consommation. Il est possible également de proposer à la fois du candi sucre et de la pâte protéinée pour laisser aux abeilles le choix de ce qui leur convient. Il est généralement constaté que les abeilles ne stockent pas les pâtes protéinées et les abandonnent dès que du pollen est disponible.

Il est à noter qu'il existe des mélanges commerciaux de protéines qui peuvent être donnée à l'extérieur des ruches et que les abeilles collectent et stockent comme du pollen. Notons également l'existence de spécialités constituées uniquement d'un mélange d'acides aminés libres et sans protéines qui ont donc l'avantage d'être directement assimilables par les nourrices sans digestion préalable. Cependant les compositions en acides aminés essentiels ne sont pas clairement indiquée. Il est toutefois remarquable que les abeilles peuvent stockent ces spécialités comme du pain d'abeille à proximité du couvain.

“

**Des abeilles bien  
nourries en pollen  
vivent en moyenne  
15 jours de plus que  
les abeilles carencées.**

### **Alimentation complémentaire et stimulants**

Dans le but de dynamiser le démarrage des colonies au printemps et des essaims ainsi que de stimuler des colonies en difficultés, il existe différentes préparations commerciales sous forme liquide à ajouter à un sirop ou sous forme de poudre. Cependant, l'origine des protéines, leurs concentrations et la teneur en acides aminés essentiels ne sont en général pas indiqués et il est donc difficile de se faire une opinion sur leur pertinence. D'après le mode d'emploi indiqué par chaque fabricant, on peut toutefois se faire une idée de l'apport en protéines. Il est intéressant de constater que cet apport en protéines se situe entre 6 et 40 g par traitement selon les spécialités. À raison de 16 à 22 g de protéines minimum consommé par jour par colonie, cet apport limité de protéines couvre au mieux une à deux journées de consommation. Il semble donc clair que l'origine de l'effet stimulant de ses spécialités n'est pas lié qu'à l'apport de protéines.

### **De la nécessité d'une bonne gestion globale des apports nutritionnels**

Il est essentiel de bien choisir l'emplacement de son rucher pour assurer au mieux des apports en pollens variés toute l'année et aussi d'ajuster le nombre de ruches par rucher en fonction des ressources en pollen. La transhumance ainsi que la plantation d'arbustes produisant des pollens pendant les périodes de carence doivent être privilégiées (Darricau, 2022).

Des abeilles bien nourries en pollen vivent en moyenne 15 jours de plus que les abeilles carencées. Il est donc nécessaire de compléter les colonies quand les réserves de pollen sont insuffisantes, c'est-à-dire moins d'un cadre de pollen en période d'élevage et/ou moins de 4 à 5 couleurs de pollen dans la ruche. Les colonies nourries avec du pollen ont des charges en agents pathogènes moins élevées et survivent mieux à l'hiver que des colonies nourries avec des suppléments protéinés. Pour avoir des colonies dynamiques au printemps, il faut s'assurer qu'elles ont beaucoup de provision de pollen avant l'hiver (environ 4,5 kg).

Le pain d'abeille permet aux colonies de subvenir aux carences en apport de pollen. Cependant, si celui-ci est absent ou en cas de pénurie extrême, le recours aux pâtes protéinées permet de remédier aux périodes de disette.

Concernant les essaims artificiels et les nuclei ainsi que les colonies affaiblies ou en difficultés, le recours à des spécialités stimulantes, en plus de l'apport en pain d'abeille, est généralement bénéfique pour les colonies. Il convient cependant de rester prudent dans l'emploi des pâtes protéinées et substituts de pollen car une composition et/ou une utilisation inadéquate peut avoir de lourdes conséquences sur le développement et sur l'état sanitaire des colonies d'abeilles.

## Bibliographie

- Alaux C., Ducloz F., Crauser D., Le Conte Y., 2010, « Diet effects on honeybee immunocompetence ». *Biology Letters*, Vol. 6 (4).
- Bruneau E., 2006, « Les clés de l'alimentation », *Abeilles et Cie* n° 113.
- Bruneau E., 2012, « Les clés de la colonie », *Abeilles et Cie* n° 147.
- Cornara L, Biagi M, Xiao J, Burlando B., 2017, « Therapeutic Properties of Bioactive Compounds from Different Honeybee Products », *Frontiers in Pharmacology*, 8:412.
- Darricau Y., 2022, « It's the pollen, stupid! L'important ce n'est pas que la rose, crois-moi, le pollen aussi ! », *L'Abeille de France* n° 1103 (juillet/août 2022); « Le lierre, ce mal-aimé », n° 1104 (septembre 2022).
- De Groot A., 1953, « Protein and amino acid requirements of the honey bee », *Physiologia Comparata Et Ecologia*, Vol. 3.
- DiPasquale G., 2014, « Influence de l'alimentation pollinique sur la santé de l'abeille domestique, *Apis mellifera* », Thèse de l'Université d'Avignon (sciences agricoles). <https://www.theses.fr/2014A-VIG0664>.
- Fewell J.H. et Winston M., 1992, « Colony State and Regulation of Pollen Foraging in the Honey Bee, *Apis mellifera* L », *Behavioral Ecology and Sociobiology*, n° 30.
- Fournier G., 2022, « Substituts protéinés : répondent-ils bien aux besoins de nos abeilles ? », *La Santé de l'Abeille* n° 307.
- Gómez Pajuelo A., 2016, « Bilan de l'enquête : le nourrissage de l'abeille », à consulter sur [www.veto-pharma.fr](http://www.veto-pharma.fr).
- Guillemain M., Merit D., et Riondet J., 2023, *La ruche basse consommation d'énergie. Une révolution apicole*, ouvrage sous presse.
- Kievits J., 2021, « Les abeilles grasses », *La Santé de l'Abeille* n° 302.
- Oliver R., 2021, « A comparative trial of the pollen subs. Part 6: Do we need to revise the griot? », à consulter sur <https://scientificbeekeeping.com>.
- Leipart et al., 2022, « Structure prediction of honey bee vitellogenin: a multi-domain protein important for insect immunity », *FEBS Openbio*, Vol. 12 (1).
- Lipinski Z., 2022, *Honey bee nutrition and feeding. In the Temperate / Continental Climate of The Northern Hemisphere*, ISBN 978-83-939279-0-6. ●