# Écologie nutritionnelle d'*Apis mellifera* et conséquences sur la santé des colonies :

## altérations naturelles et anthropiques du pain d'abeille et du miel

Nicolas Vidal-Naquet (DMV, DIE Apiculture et Pathologie Apicole)

**Comprendre comment le microbiome, la fermentation et l'environnement modulent la nutrition des abeilles permet de mieux interpréter de nombreux troubles cliniques en rucher. Cet article propose une lecture intégrative de l'écologie nutritionnelle d'*Apis mellifera* et de ses altérations naturelles et anthropiques.**



**Nicolas Vidal-Naquet**

3 rue Daumier
13008 Marseille
France

L'écologie nutritionnelle des colonies d'abeilles mellifères peut être définie comme les processus biologiques et microbiens par lesquels le pollen, le nectar et le miellat sont transformés dans la ruche en aliments [1] : le pain d'abeille et le miel. Ces transformations reposent sur la fermentation, l'activité enzymatique et le microbiome, qui permettent la biodisponibilité des nutriments pour la colonie. Ce système est un équilibre qui peut être altéré par des facteurs naturels ou anthropiques. Ces altérations modifient l'écologie nutritionnelle de la colonie, entrainant des signes cliniques et augmentant la sensibilité aux pathogènes, et réduisent la résilience des colonies d'abeilles.



Photo 1. Cadre de miel operculé facilement utilisable par les abeilles, car non cristallisé. (© Nicolas Vidal-Naquet)

Les abréviations utilisées dans cet article sont reprises dans l'Encadré 1.

### Besoins nutritionnels d'une colonie d'abeilles [1]

Les colonies d'abeilles mellifères nécessitent un apport équilibré en glucides, protéines (incluant les acides aminés essentiels), lipides (acides gras essentiels et stérols) et eau, assurant conjointement les fonctions énergétiques, structurales, physiologiques et immunitaires de la colonie.

**Les glucides** sont issus du nectar et du miellat transformés en miel, stocké dans des cellules operculées (Photo 1).

**Encadré 1. Abréviations**

**AAE :** Acides Aminés Essentiels
**AGE :** Acides Gras Essentiels
**HMF :** Hydroxyméthylfurfural
**GHP :** Glandes Hypopharyngiennes
***Homing failure* :** échec de retour à la ruche des butineuses
**PPP** : produits phytopharmaceutiques (Pesticides)



© EDP Sciences, 2026
https://doi.org/10.1051/npvelsa/2026023

Ils constituent la principale source d'énergie (métabolisme, élevage du couvain, vol), réserve indispensable, notamment en période de disette ou d'hivernage.

**Les protéines**, fournies par le pollen stocké sous forme de pain d'abeille dans des cellules non operculées, sont essentielles à l'élevage du couvain, à la physiologie des nourrices et à la production des gelées larvaires. Le pollen apporte les dix acides aminés essentiels – histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane, valine et arginine – indispensables à la croissance, à l'immunité et à la longévité. Toute carence, généralement due à une pauvreté de la diversité des pollens stockés, altère le développement du couvain et les performances des abeilles.

**Les lipides** du pollen, incluant les acides gras essentiels (ω-6 et ω-3) et les stérols, interviennent dans les membranes, le métabolisme, la reproduction et le développement larvaire. Le 24-méthylènecholestérol est indispensable, les abeilles étant incapables de synthétiser les stérols.

**L'eau** constitue un nutriment fonctionnel majeur impliqué dans la thermorégulation, la digestion, la transformation des aliments et l'alimentation du couvain. Non stockée durablement, elle doit être disponible en continu, les besoins variant selon la température, la taille de la colonie et l'intensité du couvain.

## Altérations naturelles du pain d'abeille

### Fermentation normale et son importance fonctionnelle

Le pain d'abeille est la forme de stockage, dans les alvéoles, du pollen mélangé à du nectar et à des sécrétions salivaires déclenchant une maturation microbienne par des bactéries lactiques et des Fungi (levures) [1-3]. Le pain d'abeille doit être d'origine multi-florale pour un apport équilibré en AAE et AGE (Photo 2).

La fermentation permet la biodisponibilité des nutriments (protéines, dont les AAE, stérols, lipides, AGE et oligo-éléments) pour les abeilles. Ce microbiome limite la prolifération de micro-organismes indésirables pouvant altérer les nutriments et facilite leur digestion, contribuant ainsi à la stabilité de la colonie.

### « Dysfermentation »

Même sans action anthropique, **divers facteurs,** présentés ci-après**,** peuvent perturber la maturation du pain d'abeille qui peut apparaître décoloré, moisi et/ou de couleur blanc-crayeux (Photo 3) :

- **un déséquilibre hydrique** : un pollen trop sec ou trop humide peut diminuer l'activité microbienne, avec comme conséquences, une acidification insuffisante et/ou une prolifération fongique indésirable [2,4] ;
- **la variabilité florale** : certains pollens à faible teneur en glucides limitent l'activité des bactéries lactiques, entraînant une fermentation incomplète du pollen et une biodisponibilité réduite des nutriments [5] ;
- **les fluctuations thermiques** : un déséquilibre thermique (< 33 °C ou > 36 °C) ralentit l'activité microbienne et limite la dégradation enzymatique de la paroi pollinique nécessaire à la biodisponibilité des nutriments [3] ;



**Photo 2.** Pain d'abeille de différentes couleurs montrant une origine florale diversifiée permettant un apport équilibré en AAE et AGE à la colonie.
(© Nicolas Vidal-Naquet)



**Photo 3.** Pain d'abeille moisi présentant une fermentation anormale dans les alvéoles. Les alvéoles touchées contiennent des masses de pain d'abeille fermenté décolorées, d'aspect crayeux à gris blanc. Cette altération reflète un déséquilibre hydrique, la variabilité des sources florales, les fluctuations de température et une faible démographie de la colonie, autant de facteurs susceptibles de compromettre la nutrition et la santé de la colonie.
(© Christophe Roy)

### Objectifs pédagogiques

- Comprendre les mécanismes microbiens et biochimiques impliqués dans la transformation du pollen et du nectar en ressources nutritionnelles utilisables par la colonie.
- Identifier les altérations naturelles et anthropiques de l'écologie nutritionnelle (eau, miel, pain d'abeille) et leurs conséquences cliniques.
- Intégrer l'écologie nutritionnelle dans la démarche diagnostique et les recommandations vétérinaires en apiculture.

**À retenir**

- L'écologie nutritionnelle d'*Apis mellifera* repose sur la fermentation du pollen et la maturation du miel.
- Les facteurs naturels, anthropiques (PPP, antibiotiques) et la qualité de l'eau peuvent perturber ces processus, altérant le microbiome, la nutrition, la santé de la colonie et la résistance aux maladies.

- **une colonie affaiblie** : dans les colonies peu populeuses ou affaiblies, le pollen risque d'être moins compacté avec, comme conséquences, une fermentation anaérobie limitée et un risque accru de dessiccation ou de déséquilibre microbien [4].

Ces perturbations conduisent à une sous- ou sur-fermentation du pain d'abeille, réduisant ainsi sa valeur nutritionnelle [1].

### Dégradation du pain d'abeille et santé des abeilles

Un pain d'abeille altéré peut entraîner :

- **une moindre biodisponibilité des nutriments**, notamment des AAE, stérols et AGE nécessaires au développement des ouvrières et, par conséquent, à l'élevage du couvain et à l'activité de ponte de la reine par les nourrices [4,5] ;
- **une diminution des réserves lipidiques et de la vitellogénine** ainsi qu'un développement altéré des GHP des ouvrières nourrices, nécessaires à l'alimentation du couvain et de la reine [6] ;
- **une diminution de l'immunité** liée à une expression réduite des gènes immunitaires et à une immunité sociale altérée [7] ;
- **une sensibilité accrue** au fungus *Ascosphaera apis*, agent du couvain plâtré [2].

### Indicateurs cliniques pour les vétérinaires

Les indicateurs cliniques d'altérations non-anthropiques du pain d'abeille sont essentiellement les suivants (Figure 1) :

- un pain d'abeille sec, friable, dur (sans structure en couches), parfois moisi [4] ;
- un développement de la colonie réduit, malgré des réserves alimentaires suffisantes [6] ;
- la présence de couvain plâtré (*Ascosphaera apis*) [2].

## Altérations naturelles du miel

### Maturation du miel et modifications métaboliques

La formation du miel est la conséquence de la conversion enzymatique des sucres du nectar ou du miellat (invertase, glucose oxydase) et de sa déshydratation (stabilisation et conservation). Ces processus biochimiques contribuent à la digestibilité des glucides par les abeilles, aux propriétés antioxydantes, à l'acidité et à l'activité antimicrobienne du miel [8]. L'efficacité de la maturation peut varier en fonction de la source du nectar, de la température au sein de la colonie et de la force de celle-ci.

### Altérations physicochimiques naturelles

Le miel peut subir plusieurs dégradations naturelles.

- Une **exposition thermique** : chaleur excessive, chauffage apicole (parfois utilisé dans la lutte contre *Varroa destructor*) entrainant une augmentation du HMF toxique pour les abeilles, une baisse de l'activité enzymatique (diastase, invertase) ainsi qu'une altération des composés volatils, signes d'une dégradation du miel [9].
- Un **stockage prolongé** du miel dans des rayons laissés dans les ruches : vieillissement de rayons de miel modifiant les proportions de sucres dans le miel et réduisant l'activité antioxydante [10]. Ce stockage prolongé peut également être une des causes d'augmentation du taux de HMF dans le miel.
  **À noter** que ces altérations du miel concernent également le miel en pot destiné à l'alimentation humaine.
- Des **variations d'humidité** :
  - faible humidité (taux de sucres élevé) favorisant la cristallisation (limitation de l'utilisation du miel des rayons) (Photo 4) [11] ;
  - forte humidité favorisant la fermentation (Photo 5) ;
  - augmentation du taux de HMF.

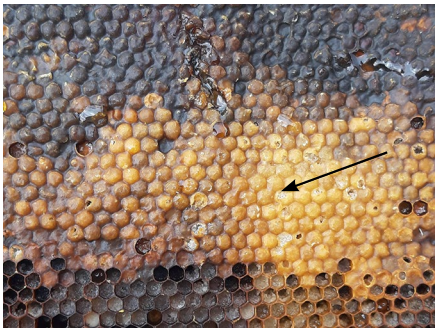


**Photo 4.** Réserves de miel cristallisé (flèche). Le miel cristallisé (ou fermenté) peut provoquer un stress digestif et la dysenterie chez les colonies d'abeilles mellifères pendant la période d'hivernage. (© Christophe Roy)



**Photo 5.** Réserves de miel fermenté moisies. Miel présentant une surface mousseuse, souvent accompagnée d'une odeur aigre, signe d'une fermentation due à l'humidité, généralement associée à des périodes prolongées de forte humidité ambiante et/ou à une ventilation insuffisante de la ruche. (© Christophe Roy)

Cette figure synthétise les principales **altérations naturelles et anthropiques du miel et du pain d'abeille**.
Elle propose un **cadre de diagnostic vétérinaire différentiel**,
incluant l'analyse des résidus et l'exclusion d'agents pathogènes ou parasitaires.

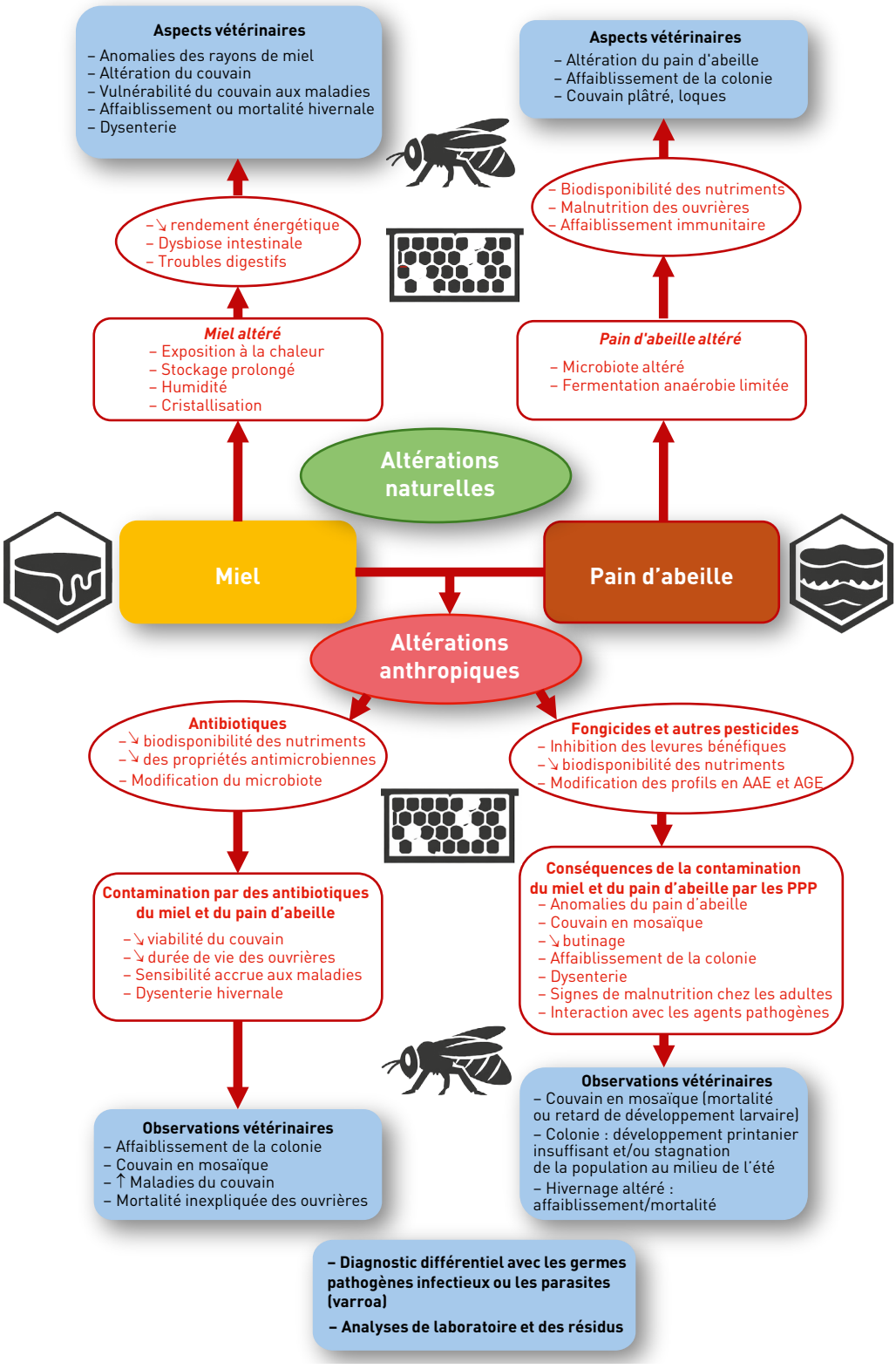



**Figure 1.** Protocole vétérinaire pour les troubles liés à l'écologie nutritionnelle dans les colonies d'abeilles [1]. (© Nicolas Vidal-Naquet)

Il est également à considérer que, selon la composition du nectar (riche en glucose dans les fleurs de colza ou de bruyère, par exemple) récolté par les butineuses, le miel fabriqué par la colonie cristallisera rapidement (limitant l'utilisation du miel des rayons par les ouvrières) [12].

### Conséquences pour la santé des abeilles

Les principales répercussions sur la santé des abeilles sont présentées ci-après.

- **Une efficacité énergétique réduite** : altération du métabolisme des glucides nécessaires, notamment, à l'élevage du couvain et à l'équilibre de la colonie [6].
- **Une diminution de la protection antimicrobienne** : diminution de l'activité de la glucose oxydase favorisant indirectement les agents pathogènes opportunistes [13].
- **Un stress digestif** : un miel cristallisé ou fermenté peut provoquer des troubles digestifs et de la dysenterie, notamment pendant l'hivernage [14].

### Indicateurs cliniques pour les vétérinaires (cf. Figure 1)

#### Signes visuels et physicochimiques à l'intérieur de la ruche

- Miel stocké pouvant devenir foncé ou très visqueux (sauf dans le cas de miel de miellat qui est naturellement de couleur foncée), souvent associé à une hausse du HMF et à une baisse de l'activité antioxydante [9].
- Cristallisation du miel (colza, bruyère, lierre et, dans une moindre mesure, pissenlit) pouvant limiter l'accès aux réserves en hiver [12].
- Odeur aigre ou mousse en surface (fermentation liée à l'humidité ou à une ventilation insuffisante) [15].

#### Signes au niveau de la colonie

- Élevage du couvain réduit, surtout au printemps [6].
- Sensibilité accrue aux maladies du couvain [13].
- Mauvaise survie hivernale et dysenterie (miel cristallisé ou fermenté) [14,16].



**Photo 6.** Comportement de famine : ouvrières adultes en train d'essayer d'ingérer du miel au fond des alvéoles. Comportement typique en cas de carence en miel ou de miel inutilisable pour l'alimentation.
(© Nicolas Vidal-Naquet)

#### Diagnostic différentiel

Le diagnostic différentiel tient compte des éléments suivants :

- colonies avec miel abondant, mais signes de famine (Photo 6) : suspecter une dégradation du miel ;
- dysenterie sans exposition à *Vairimorpha* ni PPP : suspecter un miel fermenté ou cristallisé ;
- couvain en faible quantité, en mosaïque : évaluer la qualité du miel comme source de glucides limitante [6].

### Impacts intégratifs sur l'écologie nutritionnelle de la colonie

Les altérations du pain d'abeille et du miel agissent de façon synergique.

- Le pain d'abeille mal fermenté entraine une moindre disponibilité des AAE et AGE à l'alimentation des adultes et du couvain [17].
- Le miel altéré entraîne un apport énergétique réduit et une activité antimicrobienne diminuée [18].
- L'altération de la physiologie des abeilles nourricières réduit la qualité de la gelée larvaire destinée aux larves et à la reine, augmentant ainsi la susceptibilité à *Ascosphaera apis*, à la nosémose et aux infections virales [6,7].

Ces mécanismes se combinent et peuvent amplifier les déséquilibres nutritionnels liés aux PPP décrits plus loin.

## Troubles liés à l'eau et à la nutrition dans les colonies d'abeilles mellifères

L'eau est essentielle pour les colonies d'abeilles mellifères. Elle est collectée par les butineuses en continu, car elle n'est pas stockée dans la ruche.
Elle participe :

- à la thermorégulation par évaporation ;
- à la composition des gelées larvaire et royale ;
- à la transformation du miel ;
- à la digestion des régimes riches en glucides ;
- à l'homéostasie et l'hygrométrie de la ruche.

Sa disponibilité influence directement l'utilisation des glucides et des nutriments issus du pollen. Toute perturbation peut provoquer des troubles nutritionnels fonctionnels et de l'équilibre écologique de la ruche, même lorsque les ressources

alimentaires semblent suffisantes. Les besoins en eau varient fortement selon la température et la taille de la colonie, avec des seuils à partir desquels la collecte augmente rapidement pour assurer la thermorégulation et l'hygrométrie du couvain et de la ruche [19].

En pratique vétérinaire, l'eau doit donc être considérée comme un élément central de l'écologie nutritionnelle de la colonie.

## La limitation de l'eau comme facteur de troubles nutritionnels

Un accès insuffisant à l'eau peut être une cause directe ou un amplificateur de troubles nutritionnels. Une privation aiguë (vagues de chaleur, sécheresses, changements paysagers ou déplacements de ruchers) perturbe rapidement la thermorégulation et les soins au couvain, entraînant une mortalité larvaire et d'adultes [20]. Le manque d'eau en voie d'aggravation, du fait du réchauffement climatique, risque d'être un facteur de stress supplémentaire pour les abeilles domestiques, comme pour tous les pollinisateurs sauvages.

Il existe probablement une limite à la capacité de collecte d'eau par la colonie lors de conditions extrêmes (ex. vagues de chaleur), pouvant conduire à un dépassement des capacités de thermorégulation et de maintien d'un niveau d'hydrométrie nécessaire à la colonie [19].

La pénurie d'eau aggrave aussi les troubles liés à l'utilisation des glucides [21]. Un manque d'eau augmente le stress osmotique intestinal et favorise les troubles digestifs et la dysenterie, surtout en hiver ou lors du confinement [14,16,21].

Sans eau, le miel cristallisé peut devenir inutilisable et être à l'origine de famine.

Ainsi, la pénurie d'eau peut transformer une alimentation apparemment suffisante en carence nutritionnelle fonctionnelle, illustrant le lien étroit entre disponibilité de l'eau et utilisation des nutriments.

En cas de sécheresse et de chaleur intenses, ou en raison d'un manque d'apport, cette pénurie d'eau peut être responsable de dépopulation et d'affaiblissement, voire de mortalité de la colonie.

## Altération de la qualité de l'eau : pesticides et contaminants environnementaux

Au-delà d'un manque d'eau, la dégradation de sa qualité constitue un risque souvent sous-estimé pour la nutrition et la santé des abeilles. Les abeilles collectent l'eau dans des flaques, canaux d'irrigation, gouttes de guttation ou eaux de ruissellement, susceptibles de contenir des antiparasitaires vétérinaires, pesticides, engrais, métaux lourds ou autres contaminants [22]. L'eau étant consommée directement, elle peut devenir un vecteur d'exposition aiguë ou chronique.

Des insecticides systémiques (ex. néonicotinoïdes) ont été détectés dans les eaux de surface et de guttation à des niveaux capables d'altérer l'apprentissage, le butinage, la thermorégulation et les performances de la colonie, même lorsque le nectar ou le pollen contiennent peu de résidus [22,23]. Ces sources d'eau sont difficilement évitables par les butineuses. Cependant, contrairement à une idée répandue, les abeilles ne présentent pas de préférence pour les eaux fortement minéralisées ou contaminées ; elles privilégient, au contraire, des eaux faiblement minéralisées, proches de l'eau de pluie ou distillées [24]. Les butineuses utilisent probablement des signaux multisensoriels (visuels, hygrométriques, olfactifs) pour localiser les sources d'eau, ce qui peut limiter (mais non empêcher) l'exposition à des sources contaminées [24].

Sur le plan nutritionnel, l'eau contaminée peut :

- augmenter les coûts énergétiques liés à la détoxification ;
- perturber la digestion et l'homéostasie intestinale ;
- réduire la qualité de la nourriture du couvain (affaiblissement des nourrices) ;
- entraîner ou accentuer des signes de famine, de dysenterie ou d'altération du couvain.

Cliniquement, une contamination hydrique doit être envisagée lorsque des signes nutritionnels persistent malgré une alimentation adéquate, surtout en zones agricoles. L'évaluation vétérinaire doit donc intégrer la qualité de l'eau et le contexte d'exposition, notamment lorsque les symptômes évoquent une intoxication sans source alimentaire identifiable.

## Pertinence clinique et implications vétérinaires

En pratique vétérinaire, négliger la disponibilité en eau peut être une cause fréquente d'erreur diagnostique lors de famine apparente, de dysenterie, d'altération du couvain (faibles surfaces de couvain, couvain en mosaïque) ou de déclin inexpliqué des colonies. Une inadéquation entre les besoins hydriques et les capacités de collecte (ex. colonies faibles ou conditions climatiques extrêmes) doit également être envisagée comme facteur contributif de diagnostic [19]. Le rétablissement de l'accès à une eau disponible et de qualité permet généralement une amélioration rapide des signes cliniques [1].

Il convient d'assurer un accès continu à une eau saine comme mesure préventive simple et efficace pour renforcer la stabilité nutritionnelle et la résilience des colonies. Pour cela, il faudra veiller à ce qu'un apiculteur place ses ruches à proximité d'une source d'eau (bassin, ruisseau, source, etc.) facilement accessible

aux butineuses. Si certaines sources suggèrent une recherche de micronutriments, l'augmentation de la minéralisation réduit, en réalité, l'attractivité des sources hydriques, suggérant un compromis entre besoins nutritionnels et contraintes physiologiques [24].

La disponibilité et la qualité de l'eau, notamment en zones agricoles ou irriguées, doivent donc être systématiquement intégrées à l'évaluation vétérinaire de l'écologie nutritionnelle et à la gestion des risques.

## Exposition aux pesticides dans le pain d'abeille et le miel

Miel et pain d'abeille sont stockés dans des alvéoles de cire, matrice lipidique capable d'accumuler de nombreux contaminants qui peuvent être transférés du nectar et du pollen dans la cire, en faisant une source chronique de résidus. En raison de ce contact direct, des transferts de pesticides présents dans la cire vers ces ressources nutritives sont possibles, plusieurs études montrant une migration des résidus depuis la cire vers le miel et le pain d'abeille, bien que la cire puisse également jouer un rôle de réservoir partiel pour certains composés lipophiles [25].
Les fongicides agricoles s'accumulent souvent dans le pain d'abeille et le miel, parfois à des niveaux supérieurs aux insecticides et autres pesticides, car ils sont appliqués pendant la floraison et contaminent facilement le pollen [26,27]. Les inhibiteurs de la biosynthèse des stérols (ex. propiconazole, myclobutanil) et les strobilurines figurent parmi les résidus trouvés les plus fréquents, souvent en mélange avec des insecticides et herbicides [26,27]. Introduits dans la ruche par les butineuses, ces composés contaminent le pain d'abeille et le miel, exposant durablement les nourrices, les larves et le microbiote de la colonie.



**Photo 7.** Larves atteintes de loque européenne à différents stades de décomposition (flèches). Un des facteurs favorisant l'apparition de loque européenne est une carence en protéines. (© Crown Copyright)

### Perturbation du microbiome du pain d'abeille

Le pain d'abeille subit normalement une fermentation modérée (bactéries lactiques et Fungi) favorisant notamment la digestibilité du pollen [2-4]. Les fongicides inhibent ces micro-organismes bénéfiques, réduisant la production d'acides organiques, modifiant le pH et ralentissant la dégradation enzymatique du pollen [27]. Le pain d'abeille devient alors une matrice moins active biologiquement, avec une biodisponibilité réduite des nutriments (AAE, AGE, stérols, etc.) [5].

### Effets sur la composition chimique du miel et la qualité alimentaire

Bien que le miel soit moins actif d'un point de vue microbien, les résidus de PPP peuvent perturber sa maturation et son activité antimicrobienne. Les contaminants présents dans le nectar affectent le microbiote intestinal et la physiologie des abeilles [29]. Dans certains cas, le miel contaminé peut modifier son spectre antimicrobien, influençant la production de nourriture larvaire par les nourrices.

### Impacts nutritionnels et physiologiques sur les adultes et les larves

La contamination du pollen et du miel affecte directement la physiologie des abeilles. Chez les nourrices exposées aux fongicides, la digestion du pollen est moins efficace, les GHP sont réduites et le microbiote intestinal modifié [6]. Les mélanges de PPP provoquent aussi une dysbiose intestinale, réduisant l'assimilation des nutriments ainsi que l'expression des gènes immunitaires, et augmentant le stress oxydatif, tout comme la sensibilité à des agents pathogènes opportunistes, tel *Vairimorpha ceranae* [7,29]. Chez les butineuses, même à faibles doses, ces expositions peuvent altérer l'apprentissage, l'orientation (risque de *homing failure*), la thermorégulation en vol et leur capacité de détoxification [30].

Les larves nourries avec des provisions contaminées se développent plus lentement et présentent une mortalité accrue [31], avec un risque augmenté de maladies du couvain (couvain plâtré, aspergillose, loque européenne (Photo 7), loque américaine).

### Interactions avec les agents pathogènes

Les perturbations de l'écologie nutritionnelle de la colonie peuvent modifier la dynamique des maladies en affaiblissant les défenses microbiennes alimentaires, en altérant la physiologie des abeilles et en augmentant la sensibilité aux infections. Des agents pathogènes opportunistes peuvent alors devenir cliniquement actifs [32]. Dans un contexte d'exposition chronique ou associé à des cofacteurs comme varroa, les PPP dans les réserves alimentaires peuvent favoriser l'expression clinique d'agents opportunistes (*Vairimorpha* spp.) [32], d'*A. apis* (plus rarement d'aspergillose), des loques américaine et européenne.

#### Couvain plâtré ou mycose de couvain (*Ascosphaera apis*)

Le pain d'abeille sain limite la prolifération d'*A. apis* grâce à la compétition microbienne et aux métabolites antifongiques produits par les Fungi saprophytes [28]. Les fongicides réduisent ces microorganismes protecteurs, favorisant la mycose de couvain. La présence de résidus de fongicides dans le pain d'abeille entraîne une incidence plus élevée de la maladie. Les nourrices exposées produisent également une nourriture larvaire de moindre qualité, augmentant la vulnérabilité du couvain.

#### Nosémose (*Vairimorpha* spp.)

La dysbiose intestinale provoquée par les PPP accroît la sensibilité à *V. ceranae*. Les co-expositions semblent augmenter l'expression clinique de ce parasite opportuniste [29] (voir aussi l'article de N. Vidal-Naquet, Nosémoses de l'abeille *Apis mellifera* : deux maladies opportunistes publiées dans le N° 61 du NPV élevages & santé). Les fongicides, en réduisant les capacités de détoxification et les défenses antioxydantes, facilitent la prolifération de *V. ceranae* [7]. Ces effets diminuent la longévité des ouvrières, l'efficacité du butinage et la productivité de la colonie.

Ainsi, les perturbations nutritionnelles induites par les pesticides ne constituent pas seulement un stress supplémentaire : elles modifient les interactions hôte-pathogène, amplifiant leur expression au niveau de la colonie [32].

### Conséquences au niveau de la colonie

Les effets individuels de l'exposition aux fongicides se répercutent au niveau de la colonie. Les colonies peuvent présenter un affaiblissement, voire une mortalité liés à :

- un couvain réduit, plus sensible aux maladies (couvain plâtré, loques) ;
- un affaiblissement des populations adultes ;
- une efficacité de butinage diminuée.

Dans les zones d'agriculture intensive, l'exposition combinée aux fongicides et aux insecticides peut être concomitante de pertes hivernales plus élevées et d'un risque accru d'affaiblissement de la colonie [33,34].

Ainsi, les perturbations nutritionnelles induites par les pesticides agissent, à la fois, comme des facteurs de stress directs et comme des amplificateurs de pathogénicité d'agents opportunistes, aggravant encore l'état nutritionnel des colonies [32].

### Expression clinique des perturbations nutritionnelles et écologiques

Lorsque les fongicides et autres familles de PPP perturbent la fermentation du pain d'abeille et la composition du miel, les colonies présentent des signes liés à une assimilation nutritionnelle réduite, une immunosuppression et une dysbiose [6,7,29]. Les manifestations les plus fréquentes incluent :

- une altération du couvain, de la mortalité, des maladies du couvain (couvain plâtré) [28,31] ;
- une altération de la physiologie des abeilles nourricières avec une baisse de la vitellogénine et un développement insuffisant des GHP, entraînant une alimentation larvaire et de la reine de moindre qualité [6] ;
- un affaiblissement de la colonie, notamment au printemps [35] ;
- une sensibilité accrue à *Vairimorpha* spp. avec une réduction de la longévité des butineuses, des abdomens distendus, une dysenterie (surtout avec *V. apis*) et un déclin rapide de la population [29] ;
- une altération du butinage : *homing failure* et collecte de pollen réduite [30] ;
- des signes de malnutrition chez les adultes, avec des abeilles adultes de petite taille, des réserves lipidiques réduites et un raccourcissement de la durée de vie [7] ;
- des altérations du pain d'abeille : réserves sèches, durcies ou mal fermentées [3,4].

### Diagnostic clinique des troubles nutritionnels et écologiques causés par les fongicides et autres pesticides

Le diagnostic repose sur l'association des signes cliniques (couvain, adultes, réserves) et d'analyses de laboratoire (cf. Figure 1) [1,26,27].

- Au niveau de la colonie :
  - pain d'abeille : pollen sec, peu aromatique ou mal stratifié [2,28] ;

- couvain en mosaïque, mortalité larvaire, maladies du couvain [28,35] ;
- altération du butinage : *homing failure* [30] ;
- croissance de la colonie faible (printemps), renouvellement de la population d'abeilles adultes diminuée (saison apicole), élevage d'ouvrières d'hiver altéré [34].

• Examen individuel des abeilles :
- dissection des nourrices : atrophie des GHP et faibles réserves lipidiques [6] ;
- dysenterie (Photo 8), diminution de la population de butineuses [29].

• Diagnostic différentiel :
- infestation par le parasite *Varroa destructor* ;
- famine ou déficit en pollen ;
- infections virales (notamment le virus des ailes déformées ou DWV).

• Analyses de laboratoire :
- recherche de résidus de pesticides (pain d'abeille, pollen, miel et cire) [27] ;
- analyse éventuelle du microbiome du pain d'abeille [3,4] ;
- analyses nutritionnelles du pollen stocké (protéines, lipides, stérols) ;
- recherche d'agents pathogènes : *V. ceranae*, etc.



**Photo 8.** Présence de dysenterie sur la paroi d'entrée de la ruche. (© Crown copyright)



**Photo 9.** Rucher dans une zone florale sauvage avec des ressources diverses de pollens. (© Nicolas Vidal-Naquet)

**Conclusion diagnostique** : une perturbation nutritionnelle liée aux pesticides est à envisager lorsque :
- plusieurs signes sublétaux et chroniques sont présents ;
- des résidus de pesticides sont détectés dans les matrices ;
- aucun autre facteur majeur n'explique le déclin de la colonie.

## Recommandations à l'intention des vétérinaires, des apiculteurs et des agriculteurs [26-28]

Les vétérinaires qui conseillent les apiculteurs ainsi que les apiculteurs qui collaborent avec les agriculteurs peuvent réduire les perturbations nutritionnelles et la vulnérabilité aux maladies liées aux PPP, en mettant en œuvre des pratiques fondées sur des données probantes [1].

### Pour les agriculteurs : réduire l'exposition des ruches aux fongicides et autres pesticides

Les recommandations sont les suivantes [1] :
- respecter la réglementation d'application des PPP ;
- éviter d'appliquer des fongicides pendant la floraison (même si autorisé), car ils contaminent le pollen et le pain d'abeille. Privilégier les applications en soirée ou la nuit (absence de butineuses) ;
- utiliser des formulations contenant des adjuvants non toxiques pour les abeilles ;
- adopter une lutte intégrée contre les ravageurs, afin de réduire la fréquence d'utilisation des fongicides et les mélanges avec d'autres PPP ;
- communiquer les calendriers d'application aux apiculteurs locaux, afin de coordonner la protection des ruches ou leur déplacement temporaire.

### Pour les apiculteurs : renforcer la résilience nutritionnelle

Les recommandations sont les suivantes [1] :
- placer les colonies à proximité de ressources florales diversifiées améliorant la diversité des ressources nutritionnelles (Photo 9) ;
- transhumer les ruches loin des monocultures à risques pendant la floraison. Si l'apiculteur a pour objectif de faire du miel monofloral (colza, tournesol), il devra veiller à transhumer ses colonies vers des lieux moins à risque entre ses productions souhaitées ;
- surveiller la qualité du pain d'abeille et remplacer les cadres fortement contaminés ou présentant une odeur ou une texture anormales ;

- fournir un nourrissement protéiné lors des périodes de contamination des cultures ou de pulvérisation agricole intensive (réduire le risque de présence de résidus dans la ruche) ;
- favoriser la santé intestinale en minimisant l'utilisation inutile d'antimicrobiens (dans les pays où ils sont autorisés) et en évitant les nourrissements et autres apports qui perturbent le microbiote essentiel ;
- augmenter la ventilation des ruches et réduire l'humidité afin de diminuer le risque de mycose de couvain.

### Pour les vétérinaires : mesures diagnostiques et conseils [1]

- Inclure la recherche d'une contamination du pain d'abeille comme facteur contributif potentiel lors du diagnostic des maladies du couvain et de la nosémose ;
- recommander une analyse en laboratoire du miel, du pain d'abeille ou de la cire, en cas de maladie récurrente du couvain ou de mauvaises performances de la colonie ;
- sensibiliser les apiculteurs aux deux types de dommages causés par les fongicides : perturbation du microbiome et affaiblissement du système immunitaire ;
- promouvoir des accords de collaboration entre les agriculteurs et les apiculteurs en matière d'utilisation des pesticides ;
- recommander des stratégies de gestion des colonies renforçant la physiologie des abeilles nourricières (nourrissements adaptés et réduction des cofacteurs de stress comme varroa) ;
- recommander la pratique d'un nourrissement (Encadré 2) lorsque cela est nécessaire, en cas d'altération naturelle ou anthropique des réserves stockées dans la ruche.

### Recommandations conjointes pour la protection de la santé des abeilles [1]

- **Coordonner les plans régionaux** de gestion des pesticides pendant la période de floraison afin de protéger les pollinisateurs ;
- **encourager la restauration des habitats** (haies, cultures de couverture fleuries) afin de diversifier les sources polliniques issues de la flore « sauvage » et de réduire la dépendance au pollen agricole contaminé ;
- adopter des technologies d'application de pesticides sur les cultures et les vergers minimisant les résidus (en cas de pulvérisation : réduction de la dérive par le vent, application de précision).

Ces pratiques répondent directement aux mécanismes d'écologie nutritionnelle décrits ci-dessus, atténuant ainsi les effets des pesticides sur le pain d'abeille, la composition chimique du miel, la physiologie des abeilles, notamment les nourrices, et la sensibilité aux maladies.

## Antibiotiques et écologie nutritionnelle dans la colonie d'abeilles

Les antibiotiques (oxytétracycline, streptomycine, tylosine) sont utilisés dans les colonies d'abeilles pour contrôler les maladies bactériennes du couvain (*Paenibacillus larvae* et *Melissococcus plutonius* responsables de la loque américaine et de la loque européenne respectivement) dans certains pays sous contrôle vétérinaire (ex. USA, Canada…). Autrefois autorisés en Europe, notamment en France, et dans d'autres pays, leur usage est depuis une vingtaine d'années interdit, afin d'éviter la contamination des produits de la ruche et de limiter l'antibiorésistance.
Les antibiotiques modifient aussi l'écologie nutritionnelle de la colonie en perturbant le microbiote alimentaire et digestif, les capacités métaboliques et la sensibilité aux maladies [32]. Leurs effets dépassent donc l'action antimicrobienne et influencent plusieurs fonctions physiologiques et écologiques de la colonie.

### Antibiotiques et microbiome de l'abeille

L'exposition aux antibiotiques perturbe le microbiome du pain d'abeille et des abeilles en réduisant la diversité microbienne et en éliminant des symbiotes essentiels au métabolisme des glucides et des protéines [36]. Il en résulte une digestion moins efficace, une assimilation des nutriments réduite et une plus grande sensibilité aux agents pathogènes opportunistes et aux infections virales. Les larves dépendent de la nourriture produite par les nourrices, dont le microbiome soutient en grande partie le développement immunitaire. Les antibiotiques perturbent ce microbiome et diminuent l'expression des gènes immunitaires, augmentant la sensibilité à des agents pathogènes comme *Paenibacillus larvae*, *Melissococcus plutonius* et *Vairimorpha* spp. [36,37]. Cela illustre le lien étroit entre antibiotiques, microbiote, nutrition et immunité, notamment larvaire.

### Encadré 2. Nourrissement des abeilles. Comment conseiller un apiculteur ?

Le nourrissement des colonies constitue une intervention ciblée et temporaire, utilisée pour corriger un déficit nutritionnel et non comme pratique systématique [1].

Concernant les **glucides**, il repose sur l'apport de sirop de glucose (printemps/été) ou de candi/fondant (hiver), destiné à prévenir ou corriger une altération du miel ou une carence énergétique lors de disettes nectarifères, d'hivernage insuffisant ou de reprise de ponte.

Concernant les **protéines**, le nourrissement utilise des substituts ou compléments polliniques (« *patties* ») visant à soutenir l'élevage du couvain en cas de déficit en pollen ou de mauvaise qualité nutritionnelle.

Il doit être mis en œuvre en fonction du contexte (saison, réserves, dynamique de colonie), en veillant à l'équilibre protéines/glucides, à la qualité des apports et aux risques associés (fermentation, dysenterie, déséquilibre nutritionnel ou stimulation inappropriée du couvain).

**CONFLITS D'INTÉRÊT**
L'auteur déclare qu'il n'a aucun conflit d'intérêt.

### Antibiotiques et pain d'abeille

Les antibiotiques administrés dans le sirop ou le sucre perturbent le microbiome du pain d'abeille [38,39].
Il en résulte :

- une biodisponibilité réduite des nutriments (fermentation altérée) ;
- une diminution de l'effet antimicrobien naturel du pain d'abeille, favorisant des agents pathogènes comme *A. apis* [2] ;
- une modification du microbiote, avec apparition possible de bactéries antibiorésistantes dans la colonie [36].

Ces altérations du pain d'abeille affectent directement les nourrices, dont dépend la production de nourriture larvaire et de la reine, compromettant ainsi la croissance et la résilience des colonies.

### Antibiotiques et miel : résidus, écologie microbienne et implications nutritionnelles

Le miel peut accumuler des résidus d'antibiotiques en cas d'utilisation comme traitement contre les loques. Ces résidus peuvent persister pendant des semaines, des mois, voire des années, et se dégradent lentement durant le stockage [40]. Le miel contaminé devient ainsi une source d'exposition chronique pour les ouvrières et les larves, favorisant la dysbiose intestinale et la sélection de bactéries résistantes au sein de la colonie [40].
Bien que le miel contienne peu de microorganismes actifs, ses dérivés antimicrobiens (glucose oxydase, etc.) peuvent être indirectement réduits par l'exposition répétée aux antibiotiques. Cette diminution affaiblit les propriétés protectrices du miel et peut accroître la sensibilité des larves aux infections [38]. En outre, le miel contenant des résidus d'antibiotiques consommé par les abeilles pourra affecter leur microbiome intestinal, notamment lors de consommation de réserves hivernales.
En ce qui concerne la santé publique vétérinaire, des résidus d'antibiotiques peuvent se retrouver dans les miels destinés à la consommation humaine.

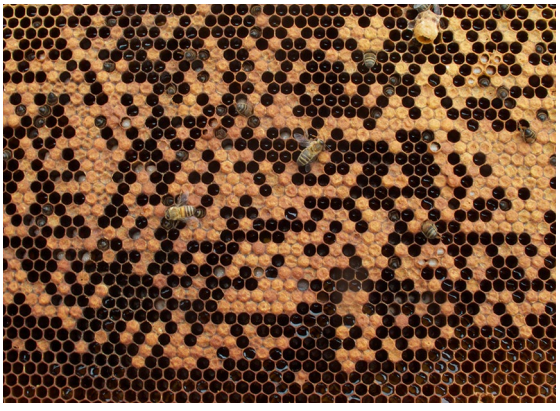


**Photo 10.** Cadre de couvain en mosaïque. Le couvain est généralement uniforme. Sur cette photo, le couvain apparaît irrégulier, signe d'une maladie du couvain.
(© Nicolas Vidal-Naquet)

### Conséquences au niveau de la colonie

Les perturbations liées à l'usage d'antibiotiques se traduisent par :

- une viabilité réduite du couvain (nourriture de moindre qualité et dysbiose larvaire) ;
- une durée de vie plus courte des ouvrières (digestion et immunité affaiblies) [36] ;
- une sensibilité accrue aux maladies, notamment la loque américaine, la mycose de couvain et d'autres bactéries opportunistes, normalement contrôlées par le microbiote [2,38] ;
- une dépendance accrue à un nourrissement de haute qualité, nécessaire pour compenser la perte de fonctions microbiennes dans l'assimilation des nutriments [41].

Ces effets montrent le lien direct entre exposition aux antibiotiques, écologie nutritionnelle et résilience sanitaire des colonies.

### Considérations vétérinaires

Dans les pays où les antibiotiques sont autorisés, leur usage doit être contrôlé avec des temps d'attente respectés, afin de limiter la contamination, les perturbations microbiennes dans la colonie et la présence de résidus dans le miel destiné à l'alimentation humaine. Comme la dysbiose liée aux antibiotiques peut imiter des carences nutritionnelles ou une pression pathogène, les vétérinaires doivent vérifier l'historique de traitement lors de l'interprétation [1] :

- d'un faible développement de la colonie ;
- d'un couvain en mosaïque (Photo 10) ;
- de maladies récurrentes du couvain ;
- de mortalité inexpliquée des ouvrières.

Dans les régions où les antibiotiques sont interdits (UE, Royaume-Uni, Suisse, etc.), la présence de résidus dans le miel ou le pain d'abeille suggère un usage illégal ou une contamination et nécessite un suivi réglementaire.
Dans tous les contextes, la pratique vétérinaire doit promouvoir une utilisation prudente des antimicrobiens, une alimentation diversifiée, et un contrôle rigoureux du varroa, afin de soutenir le microbiome et la santé des colonies.

## Conclusion

L'écologie nutritionnelle des colonies d'*Apis mellifera* repose sur l'intégration dynamique du pollen, du miel et de l'eau, dont la transformation microbienne et

enzymatique assure la biodisponibilité des nutriments et contribue à la stabilité sanitaire de la colonie. Les altérations naturelles ou anthropiques de ces processus – notamment la dysfermentation du pain d'abeille, la dégradation du miel, les perturbations hydriques ou l'exposition aux PPP et aux antibiotiques – peuvent réduire l'assimilation des nutriments, perturber le microbiome et accroître la sensibilité aux agents pathogènes opportunistes.

Ainsi, la santé des colonies dépend étroitement du maintien de cette écologie nutritionnelle. Son évaluation devrait être intégrée à l'approche diagnostique vétérinaire des troubles sanitaires et nutritionnels des abeilles, afin d'améliorer l'interprétation clinique et de soutenir la résilience des colonies dans des environnements agricoles et écologiques en mutation. ◆

Crédit Formation Continue : 0,05 CFC par article

**MOTS-CLÉS**
écologie nutritionnelle ;
*Apis mellifera* ;
pain d'abeille ;
miel ;
microbiome ;
dysbiose intestinale ;
fermentation ;
pesticides agricoles (PPP) ;
pathogènes opportunistes ;
maladies du couvain

**RÉSUMÉ**
L'écologie nutritionnelle des colonies d'abeilles mellifères correspond aux processus biologiques et microbiens par lesquels le nectar, le pollen et le miellat sont transformés dans la ruche en miel et en pain d'abeille. Ces transformations reposent sur l'activité enzymatique et la fermentation impliquant un microbiome spécifique, essentiel à la biodisponibilité des nutriments de la colonie. Cet équilibre peut être perturbé par des facteurs naturels (variabilité florale, fluctuations thermiques, humidité, vieillissement du miel) ou anthropiques (pesticides ou PPP et certains médicaments vétérinaires). Les altérations du pain d'abeille peuvent réduire la disponibilité des protéines, des lipides et des stérols nécessaires à la vie de la colonie. De même, des modifications physicochimiques du miel peuvent diminuer sa valeur énergétique et ses propriétés antimicrobiennes, entraînant un déficit glucidique, des troubles digestifs ou une mauvaise survie hivernale. La disponibilité et la qualité de l'eau jouent également un rôle clé dans la nutrition et l'homéostasie des colonies. Les PPP, en particulier les fongicides, peuvent perturber le microbiome du pain d'abeille et l'assimilation des nutriments, affaiblir la physiologie des abeilles adultes et du couvain et augmenter la sensibilité aux pathogènes, notamment opportunistes. Les antibiotiques, lorsqu'ils sont utilisés, peuvent aussi provoquer une dysbiose intestinale et alimentaire, affectant la digestion et l'immunité. La prévention repose sur les bonnes pratiques apicoles, la diversification florale, la gestion de la qualité des ressources alimentaires et hydriques, ainsi que sur une utilisation raisonnée des PPP et antimicrobiens.

**KEYWORDS**
nutritional ecology;
*Apis mellifera*;
bee bread;
honey;
microbiome;
gut dysbiosis;
fermentation;
agricultural pesticides (PPPs);
brood diseases

**SUMMARY**
The nutritional ecology of honeybee colonies refers to the biological and microbial processes by which nectar, pollen and honeydew are transformed within the hive into honey and bee bread. These transformations rely on enzymatic activity and fermentation involving a specific microbiome, which is essential for the bioavailability of nutrients within the colony. This balance can be disrupted by natural factors (floral variability, temperature fluctuations, humidity, honey ageing) or anthropogenic factors (PPPs and certain veterinary medicines). Alterations to bee bread can reduce the availability of the proteins, lipids and sterols necessary for the colony's survival. Similarly, physicochemical changes in honey can reduce its energy content and antimicrobial properties, leading to a carbohydrate deficit, digestive problems or poor winter survival. The availability and quality of water also play a key role in the nutrition and homoeostasis of colonies. PPPs, particularly fungicides, can disrupt the microbiome of the honeycomb and nutrient uptake, weaken the physiology of adult bees and brood, and increase susceptibility to pathogens, particularly opportunistic ones. Antibiotics, when used, can also cause intestinal and dietary dysbiosis, affecting digestion and immunity. Prevention relies on good beekeeping practices, floral diversification, the management of the quality of food and water resources, and the responsible use of PPPs and antimicrobials.

**TITLE**
**Nutritional Ecology of *Apis mellifera* and its Implications for Colony Health: Natural and Anthropogenic Alterations to Bee Bread and Honey**

## RÉFÉRENCES


1. Vidal-Naquet N. Honey bee veterinary medicine: Apis mellifera L. 2nd ed.: 5M Books; 2026. Sous presse.
2. Gilliam M, Prest DB, Lorenz BJ. Microbiology of pollen and bee bread: taxonomy and enzymology of molds. *Apidologie*. 1989;20(1):53-68. doi:10.1051/apido:19890106.
3. Vásquez A, Olofsson TC. The lactic acid bacteria involved in the production of bee bread. *J Apic Res*. 2009;48(3):189-195. doi:10.3896/IBRA.1.48.3.07.
4. Gilliam M. Identification and roles of non-pathogenic microflora associated with honey bees. *FEMS Microbiol Lett*. 1997;155(1):1-10. doi:10.1111/j.1574-6968.1997.tb12678.x.
5. Svoboda JA, Herbert EW Jr, Lusby WR, Thompson MJ. Comparison of sterols of pollens, honeybee workers, and prepupae from field sites. *Arch Insect Biochem Physiol*. 1983;1(1):25-31. doi:10.1002/arch.940010104.
6. DeGrandi-Hoffman G, Chen Y, Watkins de Jong E, Chambers M, Hidalgo G. Effects of oral exposure to fungicides on honey bee nutrition and virus levels. *J Econ Entomol*. 2015;108(1):1-11. doi:10.1093/jee/tov251.
7. Sánchez-Bayo F, Goulson D, Pennacchio F, Nazzi F, Goka K, Desneux N. Are bee diseases linked to pesticides? A brief review. *Environ Int*. 2016;89-90:7-11. doi:10.1016/j.envint.2016.01.009.
8. Ogwu MC, Izah SC. Honey as a natural antimicrobial. *Antibiotics (Basel)*. 2025;14(3):255. doi:10.3390/antibiotics14030255.
9. Shapla UM, Solayman M, Alam N, Khalil MI, Gan SH. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chem Cent J*. 2018;12(1):35. doi:10.1186/s13065-018-0408-3.
10. Kędzierska-Matysek M, Teter A, Daszkiewicz T, Topyła B, Skałecki P, Domaradzki P, et al. Effect of temperature of two-year storage of varietal honeys on 5-hydroxymethylfurfural content, diastase number, and CIE color coordinates. *Agriculture (Basel)*. 2025;15(6):652. doi:10.3390/agriculture15060652.
11. Chen C. Relationship between water activity and moisture content in floral honey. *Foods*. 2019;8(1):30. doi:10.3390/foods8010030.
12. Piepiórka-Stepuk J, Sterczyńska M, Stachnik M, Pawłowski P. Effects of refrigerated storage on the physicochemical, color and rheological properties of selected honey. *Agriculture (Basel)*. 2025;15(14):1476. doi:10.3390/agriculture15141476.
13. Seraglio SKT, Bergamo G, Gonzaga LV, Fett R, Costa ACO. Effect of long-term and heating storage on honey visible spectrum: an alternative parameter for quality monitoring of bracatinga honeydew honey. *J Food Sci Technol*. 2021;58(12):4815-4822. doi:10.1007/s13197-021-05201-6.
14. Brodschneider R, Crailsheim K. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*. 2010;41(3):278-294. doi:10.1051/apido/2010012.
15. Prica N, Baloš M, Jakšić S, Mihaljev Ž, Kartalović B, Vranesevic J, et al. Moisture and acidity as indicators of the quality of honey originating from the Vojvodina region. *Arch Vet Med*. 2015;7(2):99-109. doi:10.46784/e-avm.v7i2.135.
16. Seeley TD. The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies. Cambridge (MA): Harvard University Press; 1995.
17. Moore E, de Sousa RT, Felsinger S, Arnesen JA, Dyekjær JD, Farman DI, et al. Engineered yeast provides rare but essential pollen sterols for honeybees. *Nature*. 2025;646:365-371. doi:10.1038/s41586-025-09431-y.
18. Almasaudi S. The antibacterial activities of honey. *Saudi J Biol Sci*. 2021;28(4):2188-2196. doi:10.1016/j.sjbs.2020.10.017.
19. Le Bivic P. Économie de la ressource en eau chez l'abeille mellifère (Apis mellifera): aspects quantitatifs et qualitatifs [thèse]. Avignon: Avignon Université; 2025.
20. Heinrich B. Energetics of honeybee swarm thermoregulation. *Science*. 1981;212(4494):565-566. doi:10.1126/science.212.4494.565.
21. Vidal-Naquet N, Cripps CJ. Honey bees. In: Lewbart GA, editor. Invertebrate medicine. 3rd ed.: Wiley-Blackwell; 2022. p. 439-520. Disponible sur : https://doi.org/10.1002/9781119569831.ch19
22. Samson-Robert O, Labrie G, Chagnon M, Fournier V. Neonicotinoid-contaminated puddles of water represent a risk of intoxication for honey bees. *PLoS One*. 2014;9(12):e108443. doi:10.1371/journal.pone.0108443.
23. Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Di Bernardo A, et al. Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees. *J Econ Entomol*. 2009;102(5):1808-1815. doi:10.1603/029.102.0511.
24. Le Bivic P, Alaux C, Domalain J, Vidau C, Le Conte Y, Belzunces LP, et al. Study of honey bee (Apis mellifera) water preferences: do bees really like dirty water? *Apidologie*. 2025;56(6):99.
25. ANSES. Contamination et adultération des cires d'abeilles: risque pour la santé des abeilles. Avis de l'Anses. Maisons-Alfort: ANSES; 2025.
26. Mullin CA, Frazier M, Frazier JL, Ashcraft S, Simonds R, vanEngelsdorp D, et al. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS One*. 2010;5(3):e9754. doi:10.1371/journal.pone.0009754.
27. Calatayud-Vernich P, Calatayud F, Simó E, Picó Y. Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: assessing beehive exposure. *Environ Pollut*. 2018;241:106-114. doi:10.1016/j.envpol.2018.05.062.
28. Yoder JA, Jajack AJ, Rosselot AE, Smith TJ, Yerke MC, Sammataro D. Fungicide contamination reduces beneficial fungi in bee bread based on an area-wide field study in honey bee (Apis mellifera) colonies. *J Toxicol Environ Health A*. 2013;76(10):587-600. doi:10.1080/15287394.2013.798846.
29. Paris L, Peghaire E, Moné A, Diogon M, Debroas D, Delbac F, et al. Honeybee gut microbiota dysbiosis in pesticide/parasite co-exposures is mainly induced by Nosema ceranae. *J Invertebr Pathol*. 2020;172:107348. doi:10.1016/j.jip.2020.107348.
30. Tosi S, Burgio G, Nieh JC. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, impairs honey bee flight ability. *Sci Rep*. 2017;7:1201. doi:10.1038/s41598-017-01361-8.
31. Wade A, Lin CH, Kurkul C, Regan ER, Johnson RM. Combined toxicity of insecticides and fungicides applied to California almond orchards to honey bee larvae and adults. *Insects*. 2019;10(1):20. doi:10.3390/insects10010020.

32. Dolezal AG, Toth AL. Feedbacks between nutrition and disease in honey bee health. *Curr Opin Insect Sci*. 2018;26:114-119. doi:10.1016/j.cois.2018.02.006.
33. Traynor KS, Tosi S, Rennich K, Steinhauer N, Forsgren E, Rose R, et al. Pesticides in honey bee colonies: establishing a baseline for real world exposure over seven years in the USA. *Environ Pollut*. 2021;279:116566. doi:10.1016/j.envpol.2021.116566.
34. Pettis JS, Lichtenberg EM, Andree M, Stitzinger J, Rose R, vanEngelsdorp D. Crop pollination exposes honey bees to pesticides which alters their susceptibility to the gut pathogen Nosema ceranae. *PLoS One*. 2013;8(7):e70182. doi:10.1371/journal.pone.0070182.
35. Lee KV, Goblirsch M, McDermott E, Tarpy DR, Spivak M. Is the brood pattern within a honey bee colony a reliable indicator of queen quality? *Insects*. 2019;10(1):12. doi:10.3390/insects10010012.
36. Raymann K, Shaffer Z, Moran NA. Antibiotic exposure perturbs the gut microbiota and elevates mortality in honeybees. *PLoS Biol*. 2017;15(3):e2001861. doi:10.1371/journal.pbio.2001861.
37. Motta EVS, Moran NA. The honeybee microbiota and its impact on health and disease. *Nat Rev Microbiol*. 2024;22(3):122-137. doi:10.1038/s41579-023-00990-3.
38. Forsgren E, Olofsson TC, Vásquez A, et al. Novel lactic acid bacteria inhibiting Paenibacillus larvae in honey bee larvae. *Apidologie*. 2010;41:99-108. doi:10.1051/apido/2009065
39. Gilliam M. Microbiology of pollen and bee bread: the genus Bacillus. *Apidologie*. 1979;10(3):269-274. doi:10.1051/apido:19790304.
40. Gačić M, Bilandžić N, Šipušić ĐI, Petrović M, Kos B, Vahčić N, et al. Degradation of oxytetracycline, streptomycin, sulphathiazole and chloramphenicol residues in different types of honey. *Food Technol Biotechnol*. 2015;53(2):154-162. doi:10.17113/ftb.53.02.15.3934.
41. Mosca M, Gyorffy A, Milito M, Di Ruggiero C, De Carolis A, Pietropaoli M, et al. Antibiotic use in beekeeping: implications for health and environment from a One-Health perspective. *Antibiotics (Basel)*. 2025;14(4):359. doi:10.3390/antibiotics14040359.


## Tests de formation continue

1. **Dans une colonie présentant du pollen abondant, mais un développement larvaire faible, quel mécanisme nutritionnel doit être envisagé en priorité ?**
   a. Une carence énergétique liée au miel.
   b. Une dysfermentation du pain d'abeille réduisant la biodisponibilité des nutriments.
   c. Une absence de pollen récolté par les butineuses.
   d. Une intoxication aiguë par des insecticides.

2. **Cas clinique : un vétérinaire observe une colonie avec un miel abondant dans les rayons, des signes de dysenterie hivernale et aucune infection par *Vairimorpha* spp. Quelle hypothèse nutritionnelle est la plus probable ?**
   a. Une fermentation du pain d'abeille excessive.
   b. Une carence en pollen liée à une monoculture.
   c. Une intoxication aiguë par un insecticide.
   d. Une cristallisation ou fermentation du miel.

3. **Quel mécanisme explique le lien entre l'exposition aux fongicides et l'augmentation du couvain plâtré (*Ascosphaera apis*) ?**
   a. L'augmentation de la température de la ruche.
   b. La perturbation du microbiome fermentaire du pain d'abeille.
   c. L'augmentation de la teneur en sucres du miel.
   d. La réduction de la population de butineuses.

4. **Chez les nourrices exposées à des résidus de PPP dans le pollen, quel est le signe physiologique le plus susceptible d'être observé ?**
   a. La diminution de la vitellogénine et l'atrophie des glandes hypopharyngiennes.
   b. L'hyper-développement des glandes hypopharyngiennes.
   c. L'augmentation de la longévité des ouvrières.
   d. L'augmentation de la production de miel.

5. **Dans le diagnostic différentiel d'une colonie présentant une famine apparente, malgré des réserves de miel importantes, quel facteur environnemental doit être systématiquement évalué ?**
   a. La diversité génétique de la reine.
   b. La présence de faux-bourdons.
   c. La disponibilité et la qualité de l'eau.
   d. L'âge des cadres de cire.