

Analyse des alcaloïdes des lupins

Condition préalable à la production alimentaire

Le lupin est une plante intéressante pour la grande culture en Suisse. Cette légumineuse offre en effet une source de protéines végétales, est capable de fixer l'azote dans le sol et possède un bon potentiel de commercialisation en raison des utilisations très diverses. Cependant, les lupins contiennent des alcaloïdes (défenses immunitaires propres aux végétaux) qui peuvent être toxiques pour les humains et les animaux au-delà d'un certain seuil. La teneur en alcaloïdes peut varier en fonction de la variété et des conditions de culture et doit être quantifiée après la récolte.

Cette fiche fournit des informations et des conseils sur l'analyse et la réduction des alcaloïdes des lupins. Elle s'adresse au secteur de la production, aux centres collecteurs, aux entreprises de transformation et à toutes les personnes du secteur agroalimentaire.



Les principales espèces de lupin cultivées en Suisse sont le lupin blanc (à gauche) et le lupin à feuilles étroites ou lupin bleu (à droite). Notez que les deux espèces peuvent avoir des fleurs blanches, bleutées ou bleues.

La teneur totale en alcaloïdes des lupins dépend de l'espèce, de la variété et de facteurs environnementaux, tels que la qualité du sol et les conditions climatiques. Ces dernières années, des teneurs accrues en alcaloïdes ont été observées chez les lupins doux. Cela est probablement dû à une combinaison de facteurs, entre autres le changement climatique et les mécanismes de défense contre les maladies.



Actuellement, aucun seuil légal n'est fixé pour la teneur en alcaloïdes des lupins en Suisse. Cependant, il incombe aux entreprises concernées de commercialiser des denrées alimentaires sûres. Seule une analyse effectuée par un laboratoire compétent permet d'obtenir des informations précises sur la teneur en alcaloïdes des produits récoltés.

Potentiels et risques de la culture du lupin

Dérivé du latin *lupinus* (herbe aux loups), le lupin est connu au moins depuis l'Antiquité romaine dans la région méditerranéenne, où il était cultivé pour l'alimentation humaine et animale en raison de sa richesse en protéines ainsi que pour l'amélioration du sol. Jusqu'au XX^e siècle, les lupins étaient amers et ne pouvaient être consommés qu'après extraction des alcaloïdes qu'ils renfermaient. À partir du XX^e siècle, la teneur en alcaloïdes a été réduite grâce à la sélection, au point qu'ils pouvaient désor-

mais être qualifiés de lupins doux et utilisés sans traitement de désamérisation.

Seules quelques espèces de lupins indigènes sont utilisées à travers le monde pour la culture. En Suisse, il s'agit principalement du lupin blanc (*Lupinus albus*) et du lupin à feuilles étroites ou lupin bleu (*Lupinus angustifolius*). Autres espèces cultivées: le lupin jaune et le lupin andin.

Propriétés intéressantes

La demande en protéines végétales augmente au sein de nos sociétés. Les légumineuses à graines en tant que cultures alternatives jouissent donc d'un fort potentiel.

Comparés à d'autres légumineuses à graines, les lupins contiennent des taux très élevés de protéines, d'acides gras insaturés et de composants bioactifs tels que le tocophérol (un antioxydant). Selon la variété de lupin, la teneur en protéines est comprise entre 30 et 44 pour cent de la masse sèche du grain.

La culture du lupin présente également d'autres avantages:

- Fixation de l'azote, faibles besoins en engrais dans les cultures qui succèdent
- Mobilisation active du phosphore
- Floraison tardive et longue, idéale pour les insectes
- Système racinaire très étendu et profond, améliorant ainsi la structure du sol
- Résistance au gel, permettant un semis précoce

Défis

Actuellement, les principaux obstacles à la culture sont l'anthracnose et une teneur en alcaloïdes souvent trop élevée pour permettre la transformation destinée à l'alimentation animale et humaine.

L'anthracnose est une maladie du lupin causée par le champignon *Colletotrichum lupini*. Le champignon est transmis par les semences et peut entraîner la perte totale de la récolte pour les variétés sensibles. Contrairement au lupin blanc, le lupin à feuilles étroites est relativement tolérant à l'anthracnose. Les variétés de lupin blanc Frieda et Celina possèdent une bonne résistance, mais ont souvent une teneur élevée en alcaloïdes.

Outre l'anthracnose et la teneur en alcaloïdes, les facteurs suivants peuvent rendre la culture du lupin difficile:

- Rendements très variables
- Forte pression des adventices en automne
- Manque partiel d'infrastructures, peu de centres collecteurs



Les lupins sont une source attrayante de pollen pour les insectes.

Que sont les alcaloïdes?

Les alcaloïdes sont des composés organiques azotés présents dans la nature. Ils permettent aux plantes de se défendre contre les prédateurs et sont généralement toxiques pour l'organisme animal et humain au-delà d'un certain seuil. Les alcaloïdes connus comprennent la nicotine dans le tabac, la solanine dans la pomme de terre, la morphine dans le pavot à opium ou la caféine dans le café.

Alcaloïdes du lupin

Au total, environ 170 alcaloïdes du lupin ont été recensés, dont certains sont toxiques et d'autres non. Cette fiche traite exclusivement des alcaloïdes quinolizidiniques toxiques. La somme des alcaloïdes quinolizidiniques les plus courants est pertinente pour l'analyse des alcaloïdes dans la récolte de lupin.

Les alcaloïdes du lupin ont un goût amer. Si la concentration est élevée, le produit récolté peut avoir un goût désagréable, voire entraîner des intoxications. L'intoxication affecte les systèmes nerveux, circulatoire et digestif, et provoque des symptômes tels que des vertiges, des palpitations, des nausées, une perte de coordination motrice et, à hautes doses, un arrêt cardiaque et une paralysie respiratoire. Les variétés de lupin à faible teneur en alcaloïdes sont également appelées lupins doux, tandis que les lupins à forte teneur en alcaloïdes sont qualifiés de lupins amers.

Selon l'autorité de sécurité alimentaire de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande (Food Standards Australia New Zealand, FSANZ), les graines de lupin doux atteindraient des taux moyens de 130 à 150 mg (0,013 à 0,015 pour cent) d'alcaloïdes par kilogramme de semences. En revanche, les lupins amers peuvent avoir une teneur totale en alcaloïdes de 40 000 à 80 000 mg (4 à 8 pour cent) par kg, selon la variété.



Selon la variété de lupin, différentes combinaisons d'alcaloïdes sont possibles.

Influence sur la teneur en alcaloïdes

- Espèce de lupin
- Variété de lupin
- Facteurs environnementaux tels que la qualité du sol et le climat

Tableau 1: Alcaloïdes quinolizidiniques les plus courants dans les cultures de lupins

| Lupin blanc <i>Lupinus albus</i> | Lupins à feuilles étroites <i>Lupinus angustifolius</i> | Lupins jaunes <i>Lupinus luteus</i> | Lupin andin <i>Lupinus mutabilis</i> |
|--|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Lupanine • Albine • Multiflorine • 13-hydroxylupanine | <ul style="list-style-type: none"> • Lupanine • Angustifoline • 13-hydroxylupanine | <ul style="list-style-type: none"> • Lupinine • Spartéine | <ul style="list-style-type: none"> • Lupanine • 13-hydroxylupanine • 3-hydroxylupanine • Spartéine • Tétrahydrohombifoline |

Bases juridiques en Suisse

Les lupins contiennent une combinaison de différents alcaloïdes. Certains présentent une toxicité encore méconnue. L'alcaloïde du lupin le plus étudié, la spartéine, est probablement aussi le plus toxique. Par conséquent, l'évaluation des risques pour tous les alcaloïdes contenus dans le lupin repose sur les connaissances acquises sur la spartéine. Afin de garantir la sécurité alimentaire, il est important d'analyser la teneur totale en alcaloïdes quinolizidiniques des lupins.

En Suisse, aucune valeur maximale n'a été légalement définie pour les alcaloïdes dans les denrées alimentaires ou les aliments pour animaux. Le principe de l'autocontrôle prévaut dans ce domaine¹. En d'autres termes, les entreprises doivent veiller à ce que seules des denrées alimentaires sûres soient commercialisées². Les aliments ne pas considérés comme sûrs s'ils sont jugés nocifs pour la santé ou impropres à la consommation humaine³.

L'institut fédéral allemand pour l'évaluation des

risques (Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR) a défini les valeurs de référence suivantes, également recommandées en Suisse, pour protéger la santé humaine et animale:

- Pour les denrées alimentaires, la teneur totale en alcaloïdes doit être inférieure à 200 mg/kg (0,02% de la masse sèche [MS]). La valeur de référence s'applique au produit final à consommer.
- Pour les aliments pour animaux, la teneur totale en alcaloïdes doit être inférieure à 500 mg/kg (0,05% de la MS). Seuls les lupins doux sont autorisés comme aliments pour animaux en Suisse et au sein de l'UE⁴.

L'Australie est le premier producteur mondial de lupins. Les normes d'importation et d'exportation de l'organisation sectorielle Pulse Australia limitent la teneur en alcaloïdes à 0,02 pour cent.

Recommandation pour l'analyse des alcaloïdes

Quand effectuer l'échantillonnage?

La teneur en alcaloïdes doit être quantifiée après le premier nettoyage grossier de la récolte. Il est important de procéder à un échantillonnage représentatif (p 5, Figure 2).

Les lupins doivent être nettoyés immédiatement après le battage, faute de quoi l'humidité des graines de plantes adventices et d'autres contaminants sera transmise à la récolte. Les récoltes de différents champs (lots) doivent être stockées séparément (par exemple dans des «big bags») jusqu'à ce que les résultats des analyses soient disponibles. Cela évite la contamination des lots commercialisables par des lots amers. A ce stade, l'arbitrage est difficile pour les centres collecteurs, car les lupins doivent généralement être séchés ensuite, ce qui nécessite une quantité minimale. Les centres collecteurs fournissent chacun des informations sur la quantité minimale de lupins qu'ils peuvent transformer.

Si la teneur en alcaloïdes dépasse la valeur de référence, les lupins peuvent soit être utilisés comme aliments pour animaux, soit être désamérisés (p 7). Le cas échéant, si la teneur en alcaloïdes dépasse la valeur de référence lors de la première analyse, une nouvelle analyse doit être effectuée après le processus de désamérisation (p 5, Figure 1).



Les alcaloïdes doivent être analysés immédiatement après la récolte.

- 1 Loi sur les denrées alimentaires LDAI, RS 817.0, art. 26
Ordonnance sur les denrées alimentaires et les objets usuels ODAIOUs, RS 817.02, art. 73-75
- 2 LDAI, RS 817.0, art. 7 paragr. 1
- 3 LDAI, RS 817.0, art. 7 et ODAIOUs, RS 817.02, art. 8
- 4 Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux OLALA 916.307.1, annexe 1.4

Comment réaliser un échantillonnage représentatif?

Des graines de lupin individuelles au sein d'un lot peuvent avoir une teneur accrue en alcaloïdes. Cela signifie que la teneur en alcaloïdes est inégalement répartie. Comme pour les mycotoxines dans les céréales, il peut y avoir des «nids à alcaloïdes» ou des graines de lupin à forte concentration en alcaloïdes. Des échantillons représentatifs sont donc prélevés pour obtenir des valeurs mesurées pertinentes. Ils sont constitués de plusieurs échantillons issus d'un seul lot, ce qui permet de connaître la teneur moyenne en alcaloïdes pour l'ensemble du lot de lupin.

Réalisation d'un échantillonnage représentatif

Échantillon individuel: échantillon prélevé en un seul point du lot de lupin

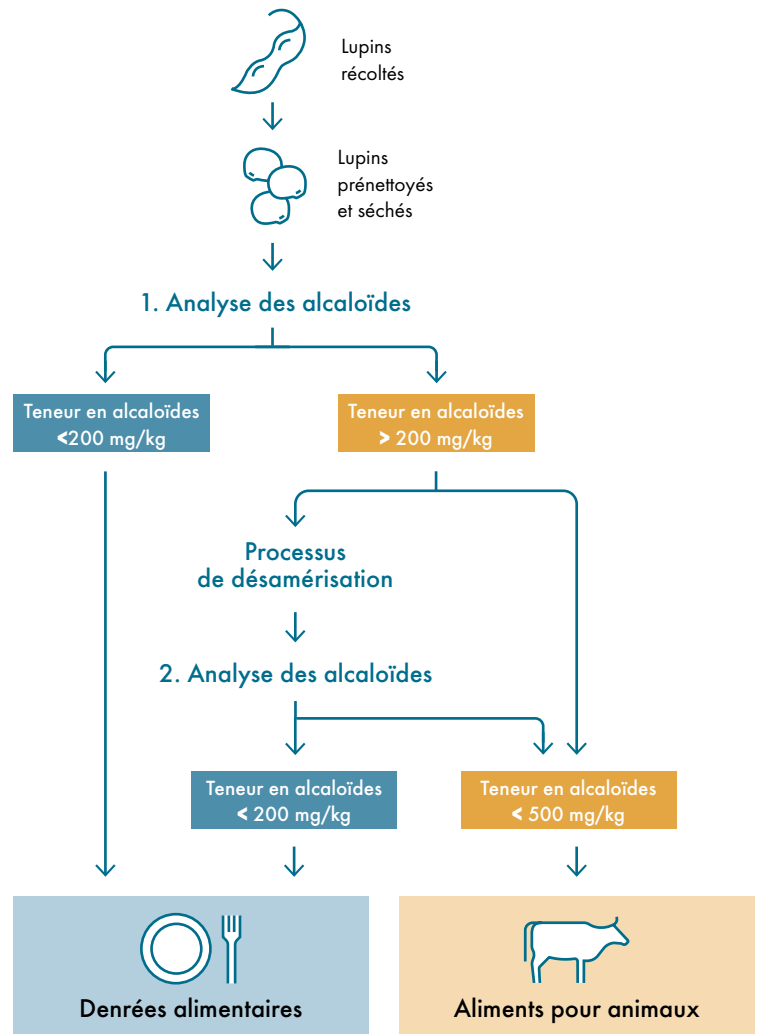
Échantillon global: échantillon constitué de plusieurs échantillons élémentaires prélevés sur le même lot de lupin

Les différents centres collecteurs effectuent un échantillonnage représentatif en bonne et due forme. Si la récolte n'est pas livrée à un centre collecteur, la procédure d'échantillonnage recommandée pour contrôler la teneur en mycotoxines des céréales ou des produits céréaliers peut fournir des indications: Le Tableau 2 de la page 6 s'appuie sur cette procédure et montre combien d'échantillons individuels et combien d'échantillons globaux sont nécessaires pour obtenir un échantillonnage représentatif, selon le poids du lot de lupin. Les indications de quantités des laboratoires sont fournies à titre d'exemple. Il convient de se renseigner auprès du laboratoire pour connaître la taille exacte de l'échantillon de laboratoire.

Exemple de calcul

Pour un lot de lupin de 50 à 500 kg, cinq échantillons uniques de 200 g chacun sont prélevés et mélangés pour former un échantillon global d'un kilogramme (Figure 2). L'échantillon pour le laboratoire est ensuite prélevé sur cet échantillon global (photos p 6).

Figure 1: Arbre décisionnel en fonction de la teneur en alcaloïdes



L'échantillonnage est effectué immédiatement après la récolte ou après le prénettoyage des lupins récoltés. L'utilisation sera différente selon le résultat de l'analyse des alcaloïdes. Pour les teneurs en alcaloïdes supérieures à 500 mg/kg, des mesures supplémentaires de réduction des alcaloïdes doivent être prises.

Figure 2: Constitution de l'échantillon

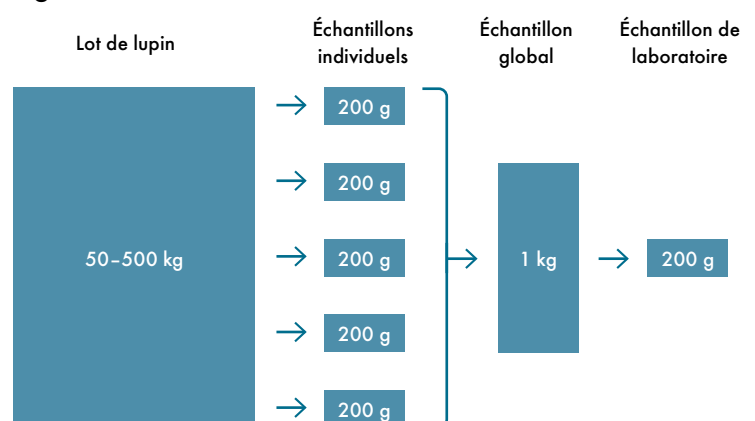


Tableau 2: Méthode d'échantillonnage pour le contrôle des alcaloïdes dans les lupins

| Lot de lupin (kg) | Nombre d'échantillons individuels | Échantillon global (kg) | Échantillon de laboratoire (la quantité dépend du laboratoire) (g) |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|--|
| ≤ 50 | 3 | 1 | 1 × 200 |
| > 50 à ≤ 500 | 5 | 1 | 1 × 200 |
| > 500 à ≤ 1'000 | 10 | 1 | 1 × 200 |

Règlement UE n° 401/2006, partie B.4 tableau 2

Procédure d'échantillonnage

Les échantillons individuels ne doivent pas seulement être prélevés à la surface du contenant (chariot, sac, big bag), mais doivent de préférence être prélevés sur toutes les «couches» du lot de lupin. Un collecteur pour produits en vrac ou une canne de prélèvement peuvent être utilisés à cette fin (photo ci-contre).

Si ce matériel n'est pas disponible, il est préférable de prélever les échantillons pendant les processus de travail au cours desquels les grains sont en mouvement, comme par exemple lors du nettoyage. Des échantillons individuels peuvent être interceptés à l'aide d'un petit contenant à différents moments lorsque les graines de lupin sont déversées. La somme des échantillons individuels doit être au moins égale au poids de l'échantillon global.

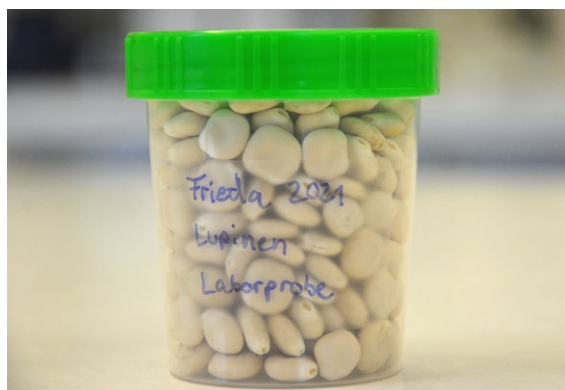
A la dernière étape, tous les échantillons sont homogénéisés pour former un échantillon global, c'est-à-dire que les graines de lupin sont mélangées dans un récipient (photo de gauche ci-dessous). Environ 200 g de lupin sont prélevés sur cet échantillon global homogénéisé et envoyés comme échantillon de laboratoire.



En utilisant la canne de prélèvement, des échantillons individuels peuvent également être prélevés dans les couches inférieures d'un sac.



Les échantillons prélevés en différents points d'un lot sont mélangés pour former un échantillon global (bien homogénéisé).



Un échantillon de laboratoire est prélevé sur l'échantillon global (photo ci-contre).

Où faire analyser la teneur en alcaloïdes?

Il existe peu de laboratoires proposant dans l'analyse des alcaloïdes du lupin. Quelques laboratoires actuellement connus sont répertoriés dans le Tableau 3. Les liens suivants vous aideront à identifier d'autres laboratoires éventuels:

- Suisse: swisstestinglabs.ch > [Lab-Finder](#)
- Allemagne: vup.de > Service > [Labor-Finder](#)

Il existe également différentes limites de quantification pour selon les teneurs en alcaloïdes. En général, la teneur totale peut être quantifiée avec précision jusqu'à 500 mg/kg de lupin. Au delà de cette valeur, une deuxième analyse, une deuxième analyse doit être effectuée pour quantifier avec précision les alcaloïdes. Sur demande, les laboratoires concernés renseignent sur la valeur limite de quantification possible. Le plus important est d'analyser la teneur totale en alcaloïdes quinolizidiniques.

Tableau 3: Laboratoires potentiels pour l'analyse des alcaloïdes quinolizidiniques des lupins

| Eurofins Scientific AG | QSI GmbH | PiCA GmbH | JenaBios GmbH |
|---|--|---|---|
| CH-5012 Schönenwerd eurofins.ch info@eurofins.ch | DE-28199 Brême qsi-q3.de sales@qsi-q3.de | DE-12489 Berlin pica-berlin.de sales@pica-berlin.de | DE-07749 Jena jenabios.de probenmanagement@jenabios.de |

Réduction des alcaloïdes pour la transformation alimentaire

Si la teneur totale en alcaloïdes d'un lot de lupin dépasse la valeur de référence, il est possible de désamériser les graines de lupin. La description des méthodes suivantes se fonde sur la littérature et les valeurs empiriques internationales.

Réduction par trempage

Les alcaloïdes sont résistants à la chaleur, mais solubles dans l'eau. Cela signifie qu'ils peuvent être efficacement réduits par le processus de cuisson et un trempage dans l'eau pendant plusieurs jours. En revanche, ni le décortilage ni la torréfaction ne réduisent la teneur en alcaloïdes, car ces derniers se trouvent à l'intérieur des graines et ne sont pas détruits par la chaleur sèche.

Une méthode de désamérisation décrite par diverses sources⁵ comprend les étapes suivantes:

- Ajouter six volumes d'eau froide à un volume de lupin et laisser tremper pendant 24 heures.
- Égoutter et rincer.
- Ajouter de nouveau six volumes d'eau et bouillir pendant environ 10 minutes; égoutter et rincer.

- Laisser tremper une nouvelle fois pendant plusieurs jours jusqu'à ce que les lupins aient perdu leur amertume; changez l'eau deux à trois fois par jour.

Dans la région méditerranéenne, le trempage des lupins pour réduire les alcaloïdes est pratiqué depuis des siècles.



Le trempage constitue une méthode éprouvée pour réduire la teneur en alcaloïde des lupins.

⁵ BfR «Risikobewertung des Alkaloidvorkommens in Lupinensamen»

Favoriser le lessivage

Lorsque les valeurs de pH sont basses, entre 2,2 et 2,4, les alcaloïdes sont encore plus solubles dans l'eau. De l'acide citrique peut être ajouté à cet effet. L'adjonction de sel (NaCl) favorise également le drainage des alcaloïdes.

En fonction de la teneur initiale en alcaloïdes, le temps de trempage et le nombre de changements d'eau doivent être ajustés. Le lessivage des alcaloïdes doit être poursuivi jusqu'à ce que les lupins aient perdu leur amertume.

Réduction par fermentation

Les alcaloïdes du lupin sont relativement stables et ne sont normalement pas éliminés par la fermentation, à une exception près: dans le cadre d'une expérience scientifique, il a été démontré que la fermentation avec une souche spéciale du champignon *Rhizopus oligosporus* réduisait la teneur en alcaloïdes de plus de moitié après 48 heures à 25 degrés Cel-



Le tempeh est traditionnellement produit par fermentation à partir de légumineuses à graines (tempeh de lupin sur la photo).

sus et à un pH de 5,5. La souche avait été sélectionnée précisément en raison de cette propriété.

Ce champignon est utilisé dans la production de tempeh et disponible dans le commerce, mais pas encore cette souche spéciale capable de dégrader les alcaloïdes. Des essais supplémentaires sont donc nécessaires pour une utilisation dans la pratique.

Le tempeh est un produit d'Indonésie obtenu par fermentation à partir du soja. D'autres légumineuses à graines peuvent également servir de base à la fabrication du tempeh.

Références et informations

Projet LUPINNO SUISSE

fibl.org > Sujets/Projets > Base de données des projets > [LUPINNO SUISSE](#)

swiss.legumehub.eu > Culture > Lupin

bioactualites.ch/grandes-cultures > Légumineuses à graines > Culture du lupin > [LUPINNO SUISSE](#)

Bases juridiques

Loi sur les denrées alimentaires [LDAI RS 817.0 art. 26](#); [LDAI art. 7](#); [LDAI art. 8](#)

Ordonnance sur les denrées alimentaires et les objets usuels [ODAI OUs RS 817.02 art. 73-75](#)

Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux [OLALA 916.307.1 annexe 4.1](#)

Catalogue des matières premières pour aliments des animaux: [Règlement UE n° 68/2013](#)

Méthode d'échantillonnage pour le contrôle de la teneur en mycotoxines des céréales et des produits céréaliers: [Règlement UE n° 401/2006 partie B.4, tableau 2](#)

Évaluation des risques liés à la présence d'alcaloïdes

Bundesinstitut für Risikobewertung Deutschland (2017). Risikobewertung des Alkaloidvorkommens in Lupinensamen. Avis rendu le 27 mars 2017. DOI [10.17590/20170327-102936](https://doi.org/10.17590/20170327-102936)
bfr.bund.de > Publikationen > BfR Stellungnahmen > [laufende Nummer 003, Jahrgang 2017](#)

Bases scientifiques

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2019). Scientific opinion on the risks for animal and human health related to the presence of quinolizidine alkaloids in feed and food, in particular in lupins and lupin-derived products. Journal de l'EFSA du 25 septembre 2019. DOI: [10.2903/j.efsa.2019.5860](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5860)

Estivi, L., Buratti, S., Fusi, D., Benedetti, S., Rodríguez, G., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2022). Alkaloid content and taste profile assessed by electronic tongue of *Lupinus albus* seeds debittered by different methods. Journal of Food Composition and Analysis Nr. 114 von July 2022, DOI: [10.1016/j.jfca.2022.104810](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104810)

Impressum

Editeur

Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL
info.suisse@fibl.org, fibl.org

Donateur

Projet LUPINNO SUISSE, financé par l'Office fédéral de l'agriculture OFAG

Auteur-es: Ivraïna Brändle, Christine Arncken, Ursula Kretschmar, Ludivine Nicod, Mariateresa Lazzaro (toutes du FiBL Suisse)

Révision: Michael Wink (Université d'Heidelberg)

Rédaction: Simona Moosmann, Jeremias Lütold (tous deux du FiBL Suisse)

Traduction: Bérengère Letessier

Conception: Sandra Walti (FiBL Suisse)

Photos: Christine Arncken (FiBL Suisse): Photo de couverture, p 3; Katharina Bitterlich (FiBL Suisse): p 2; Django Hegglin (FiBL Suisse): p 4; Thomas Alföldi (FiBL Suisse): p 1 à gauche; Andreas Basler (FiBL Suisse): p 6, 7, 8

N° de commande du FiBL: 1364

DOI: 10.5281/zenodo.8386772

Cette publication peut être téléchargée gratuitement depuis la boutique en ligne du FiBL: shop.fibl.org

Toutes les informations contenues dans cette publication reposent sur les meilleures connaissances et sur l'expérience des auteur-es. Malgré tout le soin apporté, des inexactitudes ou des erreurs lors de la mise en pratique ne peuvent être exclues. Les auteur-es et l'éditeur déclinent donc toute responsabilité en rapport avec d'éventuels contenus erronés tirés de cette publication, y compris tout dommage causé par la mise en œuvre des recommandations contenues dans celle-ci.

1. Edition 2023

L'œuvre est protégée par le droit d'auteur dans toutes ses parties. Toute utilisation sans consentement est interdite. Cela s'applique en particulier aux reproductions, traductions et microfilms, ainsi qu'au stockage et au traitement par des systèmes électroniques.