



HAL
open science

Produits d'origine végétale, pesticides et contaminants dans l'alimentation : quel rôle de l'agriculture biologique ?

Julia Baudry, Pauline Rebouillat, Emmanuelle Kesse-Guyot

► To cite this version:

Julia Baudry, Pauline Rebouillat, Emmanuelle Kesse-Guyot. Produits d'origine végétale, pesticides et contaminants dans l'alimentation : quel rôle de l'agriculture biologique ?. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2021, 56 (6), pp.368-376. 10.1016/j.cnd.2021.07.001 . hal-03879687

HAL Id: hal-03879687

<https://hal-cnam.archives-ouvertes.fr/hal-03879687>

Submitted on 31 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Produits d'origine végétale, pesticides et contaminants dans l'alimentation : quel rôle de l'agriculture biologique ?

Plant-based products, pesticides and chemical contaminants: what role of organic agriculture?

Julia Baudry^{1*}, Pauline Rebouillat¹, Emmanuelle Kesse-Guyot¹

¹Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle (EREN) – Inserm U1153, Inrae U1125, Cnam, Université Sorbonne Paris Nord, Centre de Recherche Epidémiologie et Statistiques (CRESS) Université de Paris, Bobigny, France, 74, rue Marcel-Cachin, 93017 Bobigny, France

*julia.baudry@eren.smbh.univ-paris13.fr

Tél : +33 1 48 38 89 79

Résumé

Les régimes flexitariens et végétariens suscitent un intérêt croissant au sein de la population française. Pourtant si les profils nutritionnels des individus ayant de forts apports en produits végétaux sont bien caractérisés, l'exposition aux résidus de pesticides et aux contaminants alimentaires est moins documentée. Par ailleurs, de plus fortes consommations de produits issus de l'agriculture biologique ont été associées à de plus fortes consommations de produits végétaux. L'agriculture biologique diffère de son homologue conventionnelle de par le recours à des pratiques culturales qui excluent l'usage de pesticides de synthèse et limite l'emploi d'intrants. Ces différences de pratiques se traduisent par de plus faibles teneurs en résidus de pesticides et certainement de cadmium dans les produits végétaux bio comparés à leurs homologues conventionnels tandis que davantage de données sont nécessaires pour établir s'il existe de réelles différences de teneurs en nitrates, mycotoxines et certains métaux. La consommation de produits bio permet de diminuer l'exposition aux résidus de pesticides de synthèse chez des individus suivant des régimes végétariens.

Mots clés : contaminants dans l'alimentation, pesticides, agriculture biologique, produits végétaux

Abstract

Flexitarian and vegetarian diets are of growing interest in France. While the nutritional profiles of individuals with high intakes of plant products are well characterized, exposure to pesticide residues and chemical contaminants are less documented. Moreover, higher consumption of organic products has been associated with higher consumption of plant products. Organic agriculture differs from its conventional counterpart since it bans the use of synthetic pesticides and considerably limits the use of inputs. These differences result in lower levels of pesticide residues and certainly cadmium in organic plant products compared to conventional products, while more data are needed to establish whether the levels of nitrates, mycotoxins and certain metals differ between organic and conventional

products. Consumption of organic products reduces exposure to synthetic pesticide residues in individuals following vegetarian diets.

Keywords: chemical contaminants, pesticides, organic agriculture, plant-based foods

Points essentiels

- Les régimes à base principalement de produits végétaux suscitent de plus en plus d'intérêt
- La consommation de produits végétaux est corrélée à celle de produits issus de l'agriculture biologique
- Les produits végétaux issus de l'agriculture biologique présentent peu ou pas de résidus de pesticides et certainement moins de cadmium
- La consommation de produits bio permet de diminuer l'exposition aux résidus de pesticides de synthèse chez des individus suivant des régimes végétariens
- Les transitions alimentaires vers des régimes à forte dominance végétale doivent intégrer non seulement les composantes sanitaires mais aussi les composantes environnementales et toxicologiques

Introduction

La nécessité d'adopter des régimes plus végétalisés pour la santé humaine et celle de la planète fait désormais consensus au sein de la communauté scientifique ^{1,2}. Des consommations insuffisantes de fruits et légumes, de fibres alimentaires et de produits complets et une consommation élevée de viande rouge et de charcuterie ont ainsi été associées à un risque plus élevé de maladies chroniques et de mortalité ³. Par ailleurs, les régimes à forte dominance végétale ^{4,5}, notamment les régimes végétariens et végétaliens ^a, présentent des bénéfices pour l'environnement ⁷⁻¹⁰. Si le pourcentage de personnes végétariennes demeure faible dans les populations occidentales (la prévalence se situe entre 1 et 7% selon les pays ¹¹⁻¹³), les régimes dits flexitariens se développent ¹⁴. Dans ce contexte, déterminer les impacts sur la santé de l'adoption de tels régimes s'avère un enjeu majeur de santé publique.

Toutefois, si les profils en nutriments et minéraux des individus dont les régimes sont principalement végétaux sont bien caractérisés ¹⁵, les implications d'une transition vers des régimes plus végétalisés en matière de sécurité alimentaire, en particulier d'exposition aux résidus de pesticides et contaminants alimentaires restent peu examinées. Pourtant, la voie principale d'exposition aux résidus de pesticides dans la population générale est l'alimentation et les boissons ¹⁶⁻¹⁸. Plus spécifiquement, les

^a L'expression « régime végétalien » désigne un régime excluant toute chair animale tandis que le terme « végan » revêt un sens plus large et désigne un mode de vie rejetant toute forme d'exploitation animale (par exemple la consommation alimentaire de produits d'origine animale est exclue mais aussi l'utilisation du cuir ou de la laine) ⁶. Depuis quelques années, le terme « végan » est entré dans le langage courant en France et tend à remplacer le terme « végétalien ».

fruits et légumes présentent les plus fortes teneurs en résidus de pesticides ¹⁹. De même, certains contaminants alimentaires comme les métaux lourds ou les mycotoxines peuvent se retrouver dans certains produits végétaux de manière non intentionnelle ²⁰. Les personnes ayant de fortes consommations de produits végétaux pourraient donc être plus exposées à certains contaminants alimentaires et résidus de pesticides.

Par ailleurs, les effets des différentes pratiques agricoles (agriculture biologique vs agriculture conventionnelle) sur l'exposition aux pesticides et contaminants via l'alimentation sont aussi peu documentés alors qu'il existe une corrélation positive entre consommation de produits issus de l'agriculture biologique et consommation de produits végétaux ²¹. L'agriculture biologique diffère de son homologue conventionnelle de par le recours à des pratiques culturales qui excluent l'usage des pesticides de synthèse, des OGM et limitent l'emploi d'intrants. Selon le dernier rapport de l'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) ¹⁹, les aliments d'origine végétale issus de l'agriculture biologique présentent de plus faibles teneurs en résidus de pesticides. On peut dès lors se demander quels sont les impacts de ces plus faibles concentrations en matière d'exposition chez des individus ayant des régimes fortement végétalisés. Plus précisément, quel rôle joue la bio dans l'exposition aux contaminants alimentaires et pesticides chez des individus présentant des régimes fortement végétalisés ?

Cet article vise dans un premier lieu à revenir sur quelques définitions puis à se pencher sur les principes de l'agriculture biologique et les principales différences de pratiques culturales entre l'agriculture biologique et conventionnelle et les différences en matière de contaminations qui en découlent. En second lieu, nous évoquerons l'exposition aux résidus de pesticides via les produits végétaux chez des adultes français et étudierons dans quelle mesure une consommation de produits bio peut jouer un rôle.

Définitions

Les substances chimiques sont omniprésentes dans la chaîne alimentaire. Dans certains cas, il s'agit de substances utilisées afin de prolonger la durée de conservation des aliments (conservateurs) ou rehausser le goût de ceux-ci comme par exemple les exhausteurs de goût ou arômes alimentaires. Dans d'autres cas, il s'agit de contaminants présents dans l'environnement ou de résidus qui se retrouvent de manière non intentionnelle dans les denrées alimentaires. Selon les critères définis par la Commission Européenne, parmi les substances chimiques, on dénombre ainsi les résidus de pesticides, les contaminants chimiques, les résidus de médicaments vétérinaires, les hormones dans la viande et les matériaux en contact avec les denrées alimentaires ²². Nous nous intéresserons particulièrement aux deux premiers types dans le cadre de cet article, étant donné leur occurrence dans les produits végétaux.

Pesticides et résidus de pesticides

L'étymologie du mot pesticide provient du mot *pest* en anglais qui signifie ravageur et du suffixe *cide* du verbe latin *caedere* tuer. Les pesticides désignent toutes substances (molécules) ou produits (formulations) visant à prévenir, contrôler ou détruire les organismes considérés comme nuisibles, que ce soit dans le secteur agricole ou dans le cadre d'autres applications phytosanitaire ou biocide. Bien que souvent considérés comme synonymes, les pesticides et les produits dits « phytosanitaires » ou « phytopharmaceutiques » ne revêtent pas la même acception. Le terme générique pesticide recouvre non seulement les produits phytosanitaires (usage agricole), dont l'utilisation est la plus courante mais aussi les produits dont l'usage n'est pas agricole (biocides).

Les produits phytosanitaires contiennent une ou plusieurs substances actives et peuvent contenir des co-formulants (adjuvant/synergiste). Ils peuvent être d'origine naturelle (minérale ou organique) ou de synthèse. Souvent classés selon le ravageur visé, ils comprennent : les herbicides, les fongicides, les insecticides, les acaricides, les régulateurs de croissance et les répulsifs. Ils peuvent également être classés selon leur famille chimique (organochlorés, organophosphorés, carbamates, pyréthriinoïdes, néonicotinoïdes, etc.), les substances au sein d'une même famille chimique présentant des propriétés similaires. Il est à noter qu'il n'existe pas de pesticides spécifiques d'un nuisible particulier, entraînant inévitablement des effets sur d'autres organismes vivants et expliquant en grande partie l'impact des pesticides sur la biodiversité.

Leur utilisation et l'autorisation des substances actives sont régies par une réglementation européenne spécifique (règlement (CE) n° 1107/2009). Les pesticides font par ailleurs l'objet d'une évaluation toxicologique et se voient affecter des limites maximales applicables légales pour leurs résidus (LMR) lorsque ces derniers sont présents dans ou sur les denrées alimentaires (et dans les aliments pour animaux d'origine végétale et animale).

D'après le règlement européen (règlement (CE) n° 396/2005) les résidus de pesticides désignent « *les reliquats, y compris les substances actives, les métabolites et/ou les produits issus de la dégradation ou de la réaction des substances actives utilisées actuellement ou par le passé dans les produits phytopharmaceutiques tels que définis à l'article 2, point 1), de la directive 91/414/CEE, qui sont présents dans ou sur les produits visés à l'annexe I du présent règlement, y compris notamment les résidus dont la présence peut être due à une utilisation des substances actives à des fins phytosanitaires, vétérinaires, ou en tant que biocides* ».

En population générale, l'alimentation et les boissons sont les principales voies d'exposition à la plupart des pesticides, notamment via la consommation d'aliments d'origine végétale ¹⁶⁻¹⁸. Les organochlorés (par exemple le DDT, le lindane ou la chlordécone) qui sont fréquemment retrouvés dans les aliments d'origine animale font figure d'exception. Leur grande majorité sont considérés comme des polluants organiques persistants et sont à ce titre interdits d'utilisation ¹⁹ et sont donc

maintenant des contaminants environnementaux (et donc non liés aux pratiques agricoles).

Les modes d'action des pesticides sont divers, ils peuvent agir sur le système nerveux, les voies métaboliques, le processus respiratoire ou encore sur la photosynthèse et la division cellulaire. Le niveau de preuves est élevé concernant un risque accru pour certaines maladies en lien avec l'exposition aux pesticides selon les dernières données de l'expertise collective INSERM ²³. Ainsi, une présomption forte de lien a été établie entre l'exposition professionnelle aux pesticides et différentes pathologies : comme les lymphomes non hodgkiniens, le myélome multiple, le cancer de la prostate, la maladie de Parkinson ainsi que la survenue de troubles cognitifs et de maladies respiratoires ²³. Il a été mis en évidence une présomption de lien forte de sur-risque de maladies touchant le système hématopoïétique, de tumeurs cérébrales et de troubles du développement et du comportement chez l'enfant exposé durant la grossesse ou la petite enfance ²³.

Contaminants dans les denrées alimentaires

Selon la réglementation européenne (règlement (CEE) n° 315/93), les contaminants désignent toute substance chimique qui n'a pas été ajoutée de manière intentionnelle dans les produits alimentaires. Ces substances peuvent être présentes dans les denrées alimentaires lors des diverses étapes de production, de transformation ou de transport. Leur présence dans les aliments peut aussi être le résultat d'une contamination environnementale.

Les contaminants présents dans l'alimentation peuvent être d'origine naturelle (comme les métaux présents dans le sol ou produits par des micro-organismes ou champignons) ou être le résultat d'une pollution du milieu (polluants organiques persistants) ²⁴. Les contaminants peuvent être de divers types : les contaminants liés aux processus de transformation (acrylamide, furane), les toxines naturelles (mycotoxines, alcaloïdes), les polluants environnementaux (retardateurs de flammes bromés ou dioxines et PCB) et les métaux. Ces derniers sont naturellement présents dans l'environnement et ne proviennent pas uniquement d'activités anthropiques (contamination au plomb pendant l'Antiquité ; présence de certains d'entre eux dans la croûte terrestre (mercure, etc...)). Toutefois, les fortes teneurs en métaux retrouvées dans certains aliments sont le plus souvent l'œuvre de l'activité humaine.

Des concentrations maximales européennes sont définies pour certains d'entre eux ²⁴ (règlement (CE) n° 1881/2006) comme les mycotoxines (aflatoxines, ochratoxine A, fusarium-toxines, patuline), les métaux (cadmium, plomb, mercure, étain inorganique), les dioxines et PCB, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 3-MCPD et nitrates ²⁴. Les contaminants peuvent présenter un risque pour la santé humaine.

Les dioxines et PCB se retrouvent surtout dans les produits d'origine animale et spécifiquement le tissu adipeux ²⁵, tandis que les mycotoxines et les métaux, sont rencontrés plus fréquemment dans les aliments d'origine végétale.

Principes et cahier des charges de l'agriculture biologique

Nous utiliserons ici les termes *conventionnel* ou *agriculture conventionnelle* en référence au modèle d'agriculture intensif dominant dans l'Union Européenne caractérisé par l'utilisation importante d'engrais minéraux azotés et de pesticide de synthèse en opposition à l'agriculture biologique encadré par un règlement européen spécifique (règlement (CE) n° 834/2007) - récemment mis à jour (règlements européens n° 2018/848 et 2020/464 entrant en vigueur en janvier 2022). A titre d'exemple, malgré une croissance extrêmement forte ces dernières années, la surface agricole conduite en bio en France ne représentait que 9,5% en 2020, selon les derniers chiffres de l'Agence Bio ²⁶.

Selon l'IFOAM (*International Federation of Organic Agriculture Movements*), l'agriculture biologique repose sur 4 grands principes : le principe de santé, le principe d'écologie, le principe d'équité et le principe de précaution ²⁷. Ces principes généraux ne se traduisent pas nécessairement par des règles *stricto sensu* mais servent plutôt d'orientation aux pratiques. Le cahier des charges européen bio quant à lui indique que les systèmes bio allient les meilleures pratiques environnementales et visent à assurer la protection de l'environnement et maintenir un haut degré de biodiversité et de bien-être animal.

Comme indiqué plus haut, l'un des principaux piliers de l'agriculture biologique repose sur l'interdiction de l'usage des engrais minéraux de synthèse (quelques engrais minéraux naturels sont autorisés mais leur quantité est réglementée, on a par exemple une interdiction totale de l'usage d'azote d'origine minérale), l'interdiction de l'utilisation de pesticides chimiques de synthèse ainsi que sur la rotation des cultures. Le règlement européen interdit l'utilisation d'engrais chimiques, de pesticides et d'hormones et restreint fortement l'utilisation de médicaments de synthèse et d'additifs alimentaires.

Ainsi comparé à son homologue conventionnel, l'agriculture biologique repose sur d'autres approches pour maintenir la fertilité des sols et des plantes (rotation des plantes, culture de plantes fixatrices d'azote et utilisation d'autres engrais verts, choix de variétés différentes...).

Principales différences entre agriculture conventionnelle et biologique

En 2017, 385 substances actives étaient autorisées en agriculture conventionnelle contre 26 en bio ²⁸. Sur le plan toxicologique, la grande majorité des pesticides autorisés en bio présentent une plus faible innocuité ²⁸. Deux exceptions notables sont les pyréthrinés et le cuivre. Ce dernier constitue un fongicide très utilisé en bio

dont l'usage important entraîne des effets délétères sur la vie des sols tandis que les pyréthrinés bien que moins stables que les pyréthrinoïdes partagent le même mode d'action que ceux-ci ²⁸.

Le Tableau 1 présente quelques différences de pratiques culturales entre agriculture biologique et conventionnelle.

Tableau 1: Exemples de différences de pratiques culturales entre bio et conventionnel selon le cahier des charges européen

	Conventionnel	Biologique
Fertilisant du sol	engrais minéraux : nitrate d'ammonium, nitrate de calcium, sulfate d'ammonium...	quelques engrais minéraux naturels autorisés mais la quantité est réglementée (interdiction totale pour l'azote d'origine minérale), fumier, composte, ...
Fertilisant des feuilles	phosphate de potassium, nitrate de magnésium, urée...	extraits d'algues, acides aminés...
Pesticides ^a	385 substances autorisées (malathion, boscalid, imazalil, cyperméthrine ...)	26 substances autorisées (phéromones, pyréthrinés, cuivre...) approches préventives ++ (rotation, cultures associées, contrôle biologique...)
Herbicides	glyphosate	prohibés

^a Données issues de Mie et al., 2017 ²⁸

Ces différences de pratiques culturales se traduisent par des différences de teneurs en certains résidus et contaminants.

Contamination en résidus de pesticides et contaminants dans les produits végétaux

Contamination en résidus de pesticides

Les produits végétaux issus de l'agriculture biologique contiennent moins de résidus de pesticides que leurs homologues conventionnels, que ce soit en termes de fréquence ou de concentration ^{19,29,30}

Ainsi, le dernier rapport de l'EFSA indique que dans les échantillons bio analysés en 2019, les produits végétaux les plus souvent contaminés en résidus de pesticides étaient les légumes (14,1% des légumes bio vs 44,5% des légumes conventionnels avaient des teneurs en résidus quantifiables \leq LMR). Au total, 63,2% des fruits et légumes conventionnels contenaient des résidus de pesticides vs 9,9% des fruits et légumes bio (teneurs en résidus quantifiables \leq LMR).

La méta-analyse conduite par Baranski et al. en 2014 va également dans ce sens et indique que la fréquence d'occurrence en résidus de pesticides était quatre fois plus élevée dans les produits conventionnels ³⁰. De très nombreuses études cliniques et

observationnelles menées dans différents pays et populations (enfants et adultes, femmes enceintes) ont montré qu'une consommation de produits végétaux issus de l'agriculture biologique se traduisait par de plus faibles concentrations urinaires en résidus de pesticides ^{16,31-39}.

Contamination en métaux, nitrates et toxines

Le règlement européen fixe des concentrations maximales pour certains contaminants dans les aliments dont le mercure, le plomb et le cadmium. L'application d'engrais minéraux phosphatés est à l'origine de l'accumulation de métaux comme le cadmium dans les cultures. Comme évoqué plus haut, le cahier des charges bio interdit l'usage d'engrais minéraux de synthèse ²⁸. Quelques études ont été menées concernant les différences de teneurs en métaux toxiques dans les cultures bio et conventionnelles. Aucune différence n'a été trouvée concernant les concentrations dans les cultures bio et conventionnelles en plomb, mercure et arsenic ²⁸. Si l'uranium peut être très présent dans les engrais minéraux phosphatés utilisés en conventionnel et moins dans les engrais organiques et s'accumuler dans le sol ⁴⁰, aucune étude n'a à ce jour observé une différence entre les teneurs en uranium dans les produits bio et conventionnels ²⁸. Le cadmium, naturellement présent dans le sol, est un métal important à surveiller car très répandu et dont les expositions sont souvent proches des limites tolérées. Par ailleurs, les consommations de légumes et céréales sont parmi les premières sources d'exposition chez les individus non-fumeurs. Il s'agit d'un métal toxique pour les reins, pouvant entraîner une déminéralisation des os et présentant des effets mutagènes et cancérigènes ²⁸. Une utilisation intensive d'engrais contenant du cadmium entraîne une augmentation de la teneur en cadmium dans les cultures. La méta-analyse de Barański et al. ainsi fait état d'une plus forte concentration en cadmium dans les cultures conventionnelles ³⁰ comparées aux cultures bio tandis qu'aucune différence significative en concentration plasmatique en cadmium n'a été observée chez 150x2 individus appariés ayant de forts apports en produits végétaux bio et conventionnels ⁴¹. Mie et al. ²⁸ émettent l'hypothèse que la plus faible concentration en cadmium rencontrée dans les cultures bio pourrait être le résultat de la plus faible teneur en cadmium dans les engrais utilisés en bio.

La fertilisation en bio repose fortement sur la rotation des cultures et l'introduction de légumineuses fixatrices d'azote, pouvant entraîner des différences entre bio et conventionnel. Les études sur le sujet semblent indiquer que les teneurs en nitrates et nitrites dans les deux types de mode de production ne semblent toutefois pas différer significativement entre bio et conventionnel. Il convient de noter qu'il existe une grande variabilité entre les différentes études pour ces molécules ³⁰.

Les produits végétaux sont les principaux contributeurs de l'exposition aux mycotoxines (pour l'ochratoxine A via le pain et les fruits et la patuline via les fruits et leurs dérivés) ⁴². Les fongicides de synthèse sont interdits en bio et une possible plus forte concentration en mycotoxines dans les produits bio est souvent avancée. Il

s'agit d'un enjeu majeur étant donné que l'absorption de certaines mycotoxines, comme par exemple les aflatoxines, peut s'avérer dangereux même à faibles doses si l'absorption est de longue durée. La revue de Mie et al. ²⁸ indique pourtant que de plus faibles concentrations en déoxynivalénol (une mycotoxine produite par certaines espèces du genre *Fusarium*) ont été observées dans les cultures de céréales en bio tandis que le mode de production ne semble pas avoir de rôle majeur dans les concentrations en ochratoxine A ²⁸. Parmi les facteurs pouvant expliquer les plus faibles teneurs en déoxynivalénol dans les cultures céréalières bio, il est mentionné dans la revue ²⁸ l'altération de la composition des communautés fongiques par les fongicides ^{43,44} ainsi que l'usage de cultures non céréalières dans les rotations en bio ⁴⁵. Les auteurs notent toutefois que les contaminations en mycotoxines sont le résultat d'un grand nombre de facteurs comme le climat ou le type de variété ⁴⁵. La FAO indique que les études réalisées ne portent pas à conclure que la consommation d'aliments biologiques entraîne un risque accru de mycotoxicose ⁴⁶.

Exposition aux pesticides chez des individus ayant des régimes végétariens

Nous avons donc vu que les systèmes de production pouvaient entraîner des différences en contaminations dans les produits végétaux. En outre, la consommation de produits végétaux est fortement associée à celle des produits bio, les personnes qui consomment bio présentant de plus forts apports en fruits et légumes, légumineuses et produits complets comparés à leurs homologues conventionnels ⁴⁷⁻⁵¹. Les forts consommateurs de bio sont aussi plus souvent végétariens ^{47,50}.

Prendre en compte la valence bio de l'alimentation lors de l'évaluation de l'exposition s'avère donc justifié à plus d'un titre. Pourtant, la modulation par la bio de l'exposition aux contaminants et aux résidus de pesticides n'est que peu étudiée. A notre connaissance, il n'existe pas d'études ayant examiné l'exposition aux contaminants alimentaires chez des groupes d'individus dont les régimes étaient plus ou moins végétalisés qui prenaient en compte la consommation de bio. Une étude basée sur les données de NutriNet-Santé a évalué les différences d'exposition en contaminants, polluants organiques et mycotoxines au sein de différents groupes de végétariens ⁴² mais la consommation de bio n'a pas été prise en considération.

Dans le cadre de récents travaux menés au sein du projet BioNutriNet, nous avons examiné les niveaux d'exposition à 25 pesticides naturels et de synthèse via les aliments d'origine végétale chez des personnes omnivores, pesco-végétariennes, végétariennes et végétaliennes de l'étude de cohorte NutriNet-Santé ⁵². Les données de consommation ont été recueillies en 2014 à l'aide d'un questionnaire de fréquence alimentaire comportant 264 items auquel a été couplé des questions portant sur la fréquence de consommation en bio ⁵³ afin d'estimer la part consommée en bio de chacun des items. Les teneurs en résidus de pesticides de produits végétaux provenaient des données du laboratoire CVUA de Stuttgart, un laboratoire officiel de contrôle alimentaire situé en Allemagne qui avait l'avantage de disposer de

données pour des produits bio. Afin d'obtenir l'exposition au niveau individuel, les données de consommation ont été jumelées à celles des teneurs en résidus de pesticides (en distinguant la valence bio des aliments) et l'exposition a été rapportée au poids corporel. Au total, l'exposition à 25 résidus de pesticides dont des organophosphorés, néonicotinoïdes, carbamates, pyréthriinoïdes et 3 autorisés en bio (l'azadirachtine, le spinosad et les pyréthrinines) a été examinée chez 33,018 individus omnivores, 555 pesco-végétariens, 501 végétariens et 368 végétaliens. L'exposition a été estimée en se basant sur les données observées et deux scénarii : un scénario 100% bio ou un scénario 100% conventionnel où les consommations rapportées par les individus étaient considérées comme uniquement issues de la bio ou de l'agriculture conventionnelle. De manière générale, nous avons observé que les individus suivant des régimes végétariens étaient la plupart du temps moins exposés que les autres groupes malgré leur fort apport en produits végétaux. Le conventionnel représentait la grande partie de l'exposition pour les différents pesticides, à l'exception des 3 pesticides autorisés en bio pour lesquels une tendance inverse était observée (Figure 1).

Figure 1 : Exposition à 25 pesticides (en $\mu\text{g}/\text{kg}$ poids corporel/jour) selon le type de régime (1 : omnivore, 2 : pesco-végétarien, 3 : végétarien, 4 : végétalien) et contribution du bio et du conventionnel

La consommation de bio semblait donc moduler l'exposition aux pesticides de synthèse étudiés chez les personnes végétariennes et végétaliennes, en accord avec une étude pilote conduite dans une communauté végétarienne, réalisée sur des biomarqueurs d'organophosphorés dans les urines ⁵⁴. Parmi les limites de l'étude réalisée dans NutriNet-Santé, on peut mentionner la non-représentativité de l'échantillon ainsi que l'auto-déclaration des consommations. Ces résultats illustrent l'importance de tenir compte du système de production lors de l'estimation de l'exposition alimentaire aux résidus de pesticides. D'autres études représentatives de la population française prenant en compte les modes de production et l'exposition alimentaire liée à la consommation de produits animaux ainsi qu'une palette très complète de pesticides sont nécessaires pour approfondir ces résultats.

Conclusion

Nous avons observé que les personnes suivant des régimes fortement végétalisés étaient plus exposées aux résidus de pesticides et à certains contaminants. Il est désormais bien documenté que la bio permet de diminuer drastiquement l'exposition aux résidus de pesticides. Concernant les contaminants, davantage d'études sont nécessaires pour évaluer si les plus faibles teneurs en cadmium dans les systèmes bio se traduisent par de plus faibles expositions tandis que pour les mycotoxines ou certains métaux, les données sont encore très parcellaires. Un enjeu majeur réside dans l'évaluation des effets à long terme sur la santé humaine de ces différences d'exposition (en particulier, l'impact d'une exposition chronique de différents mélanges de contaminants et les effets cocktails associés sont encore à déterminer). Il est impératif que les transitions alimentaires vers des régimes plus végétalisés

soient pensées en intégrant non seulement les dimensions nutritionnelles et toxicologiques mais aussi les dimensions environnementales en incluant notamment des facteurs peu pris en compte comme la diminution de l'usage de plastique ou le coût carboné de certains produits importés.

Remerciements

Nous remercions Cédric Agaesse (responsable), Alexandre De-Sa et Rebecca Lutchia (diététiciens) ; Thi Hong Van Duong, Younes Esseddik (responsable informatique), Régis Gatibelza, Jagatjit Mohinder et Aladi Timera (informaticiens) ; Julien Allegre, Nathalie Arnault, Laurent Bourhis, Nicolas Dechamp et Fabien Szabo de Edelenyi, PhD (manager) (data-manager/statisticiens) ; Sandrine Kamdem (validateur d'événements de santé) ; Maria Gomes (support Nutrinaute) pour leur contribution technique à l'étude NutriNet-Santé et Nathalie Druésne-Pecollo, PhD (manager opérationnel).

Nous remercions les volontaires de la cohorte NutriNet-Santé ainsi que le consortium BioNutriNet, en particulier Benjamin Allès, Jean-Pierre Cravedi, Mathilde Touvier, Serge Hercberg, Denis Lairon et Rodolphe Vidal.

Soutien financier : L'étude NutriNet-Santé est soutenue par les institutions publiques suivantes : Ministère français de la Santé (DGS), Santé Publique France, l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), l'Institut National de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) et l'Université Sorbonne Paris Nord. Le projet BioNutriNet a été soutenu par l'Agence nationale de la recherche française (ANR) dans le cadre du le Programme de Recherche Systèmes Alimentaires Durables 2013 (ANR-13-ALID-0001). Pauline Rebouillat est soutenue par une bourse de doctorat de la Sorbonne Paris Nord.

Déclaration d'intérêt : Aucun

Références bibliographiques

1. Springmann M, Wiebe K, Mason-D'Croz D, Sulser TB, Rayner M, Scarborough P. Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *Lancet Planet Health*. 2018;2(10):e451-e461. doi:10.1016/S2542-5196(18)30206-7
2. Willett W, Rockström J, Loken B, et al. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*. 2019;393(10170):447-492. doi:10.1016/S0140-6736(18)31788-4
3. Afshin A, Sur PJ, Fay KA, et al. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2019;393(10184):1958-1972. doi:10.1016/S0140-6736(19)30041-8

4. Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJM, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLOS ONE*. 2016;11(11):e0165797. doi:10.1371/journal.pone.0165797
5. Wilson N, Cleghorn CL, Cobiac LJ, Mizdrak A, Nghiem N. Achieving Healthy and Sustainable Diets: A Review of the Results of Recent Mathematical Optimization Studies. *Adv Nutr*. 2019;10(Supplement_4):S389-S403. doi:10.1093/advances/nmz037
6. Mathieu S, Dorard G. Végétarisme, végétalisme, véganisme : aspects motivationnels et psychologiques associés à l'alimentation sélective. *Presse Médicale*. 2016;45(9):726-733. doi:10.1016/j.lpm.2016.06.031
7. Scarborough P, Appleby PN, Mizdrak A, et al. Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Clim Change*. 2014;125(2):179-192. doi:10.1007/s10584-014-1169-1
8. Castañé S, Antón A. Assessment of the nutritional quality and environmental impact of two food diets: A Mediterranean and a vegan diet. *J Clean Prod*. 2017;167:929-937. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.121
9. Chai BC, van der Voort JR, Grofelnik K, Eliasdottir HG, Klöss I, Perez-Cueto FJA. Which Diet Has the Least Environmental Impact on Our Planet? A Systematic Review of Vegan, Vegetarian and Omnivorous Diets. *Sustainability*. 2019;11(15):4110. doi:10.3390/su11154110
10. Rabès A, Seconda L, Langevin B, et al. Greenhouse gas emissions, energy demand and land use associated with omnivorous, pesco-vegetarian, vegetarian, and vegan diets accounting for farming practices. *Sustain Prod Consum*. Published online March 5, 2020. doi:10.1016/j.spc.2020.02.010
11. Inc G. In U.S., 5% Consider Themselves Vegetarians. Gallup.com. Published July 26, 2012. Accessed July 8, 2021. <https://news.gallup.com/poll/156215/Consider-Themselves-Vegetarians.aspx>
12. Combien de végétariens et de vegans en France ? Vegactu. Accessed July 8, 2021. <https://www.vegactu.com/actualite/combien-de-vegetariens-et-de-vegans-en-france-25932/>
13. McEvoy CT, Temple N, Woodside JV. Vegetarian diets, low-meat diets and health: a review. *Public Health Nutr*. 2012;15(12):2287-2294. doi:10.1017/S1368980012000936
14. de Gavelle E, Davidenko O, Fouillet H, et al. Self-declared attitudes and beliefs regarding protein sources are a good prediction of the degree of transition to a low-meat diet in France. *Appetite*. 2019;142:104345. doi:10.1016/j.appet.2019.104345
15. Allès B, Baudry J, Méjean C, et al. Comparison of Sociodemographic and Nutritional Characteristics between Self-Reported Vegetarians, Vegans, and Meat-Eaters from the NutriNet-Santé Study. *Nutrients*. 2017;9(9). doi:10.3390/nu9091023
16. Lu C, Toepel K, Irish R, Fenske RA, Barr DB, Bravo R. Organic Diets Significantly Lower Children's Dietary Exposure to Organophosphorus Pesticides. *Environ Health Perspect*. 2006;114(2):260-263. doi:10.1289/ehp.8418

17. Luo Y, Zhang M. Multimedia transport and risk assessment of organophosphate pesticides and a case study in the northern San Joaquin Valley of California. *Chemosphere*. 2009;75(7):969-978. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.01.005
18. Vanacker M, Quindroit P, Angeli K, et al. Aggregate and cumulative chronic risk assessment for pyrethroids in the French adult population. *Food Chem Toxicol*. 2020;143:111519. doi:10.1016/j.fct.2020.111519
19. Cabrera LC, Pastor PM. The 2019 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA J*. 2021;19(4):e06491. doi:https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6491
20. Chemical contaminants. European Food Safety Authority. Accessed May 12, 2021. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/chemical-contaminants>
21. Baudry J, Allès B, Péneau S, et al. Dietary intakes and diet quality according to levels of organic food consumption by French adults: cross-sectional findings from the NutriNet-Santé Cohort Study. *Public Health Nutr*. Published online October 12, 2016:1-11. doi:10.1017/S1368980016002718
22. Anonymous. Chemical safety. Food Safety - European Commission. Published October 17, 2016. Accessed May 17, 2021. https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety_en
23. INSERM. Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données. Published online 2021.
24. EFSA. Contaminants dans l'alimentation humaine et animale. Autorité européenne de sécurité des aliments. Accessed May 20, 2021. <https://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/chemical-contaminants>
25. Dioxins and PCBs. European Food Safety Authority. Accessed May 20, 2021. <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/dioxins-and-pcbs>
26. Agence Bio. Chiffres bio 2020. Published 2021. Accessed July 9, 2021. <https://www.agencebio.org/2021/07/08/accéder-au-direct-le-9-juillet-a-10h-conference-de-presse-de-lagence-bio/>
27. Principles of Organic Agriculture | IFOAM. Accessed July 3, 2017. <http://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/principles-organic-agriculture>
28. Mie A, Andersen HR, Gunnarsson S, et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017;16. doi:10.1186/s12940-017-0315-4
29. Smith-Spangler C, Brandeau ML, Hunter GE, et al. Are Organic Foods Safer or Healthier Than Conventional Alternatives? A Systematic Review. *Ann Intern Med*. 2012;157(5):348-366. doi:10.7326/0003-4819-157-5-201209040-00007
30. Barański M, Średnicka-Tober D, Volakakis N, et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br J Nutr*. Published online June 26, 2014:1-18. doi:10.1017/S0007114514001366

31. Bradman A, Quirós-Alcalá L, Castorina R, et al. Effect of Organic Diet Intervention on Pesticide Exposures in Young Children Living in Low-Income Urban and Agricultural Communities. *Environ Health Perspect*. Published online April 10, 2015. doi:10.1289/ehp.1408660
32. Göen T, Schmidt L, Lichtensteiger W, Schlumpf M. Efficiency control of dietary pesticide intake reduction by human biomonitoring. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2, Part A):254-260. doi:10.1016/j.ijheh.2016.11.008
33. Curl CL, Porter J, Penwell I, Phinney R, Ospina M, Calafat AM. Effect of a 24-week randomized trial of an organic produce intervention on pyrethroid and organophosphate pesticide exposure among pregnant women. *Environ Int*. 2019;132:104957. doi:10.1016/j.envint.2019.104957
34. Baudry J, Debrauwer L, Durand G, et al. Urinary pesticide concentrations in French adults with low and high organic food consumption: results from the general population-based NutriNet-Santé. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019;29(3):366-378. doi:10.1038/s41370-018-0062-9
35. Makris KC, Konstantinou C, Andrianou XD, et al. A cluster-randomized crossover trial of organic diet impact on biomarkers of exposure to pesticides and biomarkers of oxidative stress/inflammation in primary school children. *PLoS One*. 2019;14(9):e0219420. doi:10.1371/journal.pone.0219420
36. Lu C, Barr DB, Pearson MA, Waller LA. Dietary Intake and Its Contribution to Longitudinal Organophosphorus Pesticide Exposure in Urban/Suburban Children. *Environ Health Perspect*. 2008;116(4):537-542. doi:10.1289/ehp.10912
37. Fenske RA, Kedan G, Lu C, Fisker-Andersen JA, Curl CL. Assessment of organophosphorous pesticide exposures in the diets of preschool children in Washington State. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 2002;12(1):21-28. doi:10.1038/sj.jea.7500197
38. Hyland C, Bradman A, Gerona R, et al. Organic diet intervention significantly reduces urinary pesticide levels in U.S. children and adults. *Environ Res*. 2019;171:568-575. doi:10.1016/j.envres.2019.01.024
39. Fagan J, Bohlen L, Patton S, Klein K. Organic diet intervention significantly reduces urinary glyphosate levels in U.S. children and adults. *Environ Res*. 2020;189:109898. doi:10.1016/j.envres.2020.109898
40. Schnug E, Haneklaus N. Uranium in phosphate fertilizers – review and outlook. In: Merkel BJ, Arab A, eds. *Uranium - Past and Future Challenges*. Springer International Publishing; 2015:123-130. doi:10.1007/978-3-319-11059-2_14
41. Baudry J, Ducros V, Druésne-Pecollo N, et al. Some Differences in Nutritional Biomarkers are Detected Between Consumers and Nonconsumers of Organic Foods: Findings from the BioNutriNet Project. *Curr Dev Nutr*. 2019;3(3):nzy090. doi:10.1093/cdn/nzy090
42. Fleury S, Rivière G, Allès B, et al. Exposure to contaminants and nutritional intakes in a French vegetarian population. *Food Chem Toxicol*. 2017;109:218-229. doi:10.1016/j.fct.2017.07.048
43. Karlsson I, Friberg H, Kolseth A-K, Steinberg C, Persson P. Organic farming increases richness of fungal taxa in the wheat phyllosphere. *Mol Ecol*. 2017;26(13):3424-3436. doi:10.1111/mec.14132

44. Karlsson I, Friberg H, Steinberg C, Persson P. Fungicide effects on fungal community composition in the wheat phyllosphere. doi:10.1371/journal.pone.0111786
45. Bernhoft A, Torp M, Clasen P, Løes A, Kristoffersen AB. Influence of Agronomic and Climatic Factors on Fusarium Infestation and Mycotoxin Contamination of Cereals in Norway. *Food Addit Contam Part Chem Anal Control Expo Risk Assess*. Published online 2012. doi:10.1080/19440049.2012.672476
46. FAO. Organic Agriculture: La consommation de produits biologiques accroît-elle le risque de contamination biologique? Accessed August 21, 2016. <http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq4/fr/>
47. Petersen SB, Rasmussen MA, Strøm M, Halldorsson TI, Olsen SF. Sociodemographic characteristics and food habits of organic consumers--a study from the Danish National Birth Cohort. *Public Health Nutr*. 2013;16(10):1810-1819. doi:10.1017/S1368980012004119
48. Eisinger-Watzl M, Wittig F, Heuer T, Hoffmann I. Customers Purchasing Organic Food - Do They Live Healthier? Results of the German National Nutrition Survey II. *Eur J Nutr Food Saf*. 2015;5(1):59-71. doi:10.9734/EJNFS/2015/12734
49. Kesse-Guyot E, Péneau S, Méjean C, et al. Profiles of Organic Food Consumers in a Large Sample of French Adults: Results from the Nutrinet-Santé Cohort Study. *PLoS ONE*. 2013;8(10):e76998. doi:10.1371/journal.pone.0076998
50. Baudry J, Méjean C, Péneau S, et al. Health and dietary traits of organic food consumers: results from the NutriNet-Santé study. *Br J Nutr*. Published online October 2, 2015:1-10. doi:10.1017/S0007114515003761
51. Simões-Wüst AP, Moltó-Puigmartí C, van Dongen MC, Dagnelie PC, Thijs C. Organic food consumption during pregnancy is associated with different consumer profiles, food patterns and intake: the KOALA Birth Cohort Study. *Public Health Nutr*. Published online May 31, 2017:1-11. doi:10.1017/S1368980017000842
52. Baudry J, Rebouillat P, Allès B, et al. Estimated dietary exposure to pesticide residues based on organic and conventional data in omnivores, pesco-vegetarians, vegetarians and vegans. *Food Chem Toxicol Int J Publ Br Ind Biol Res Assoc*. Published online April 9, 2021:112179. doi:10.1016/j.fct.2021.112179
53. Baudry J, Méjean C, Allès B, et al. Contribution of Organic Food to the Diet in a Large Sample of French Adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients*. 2015;7(10):8615-8632. doi:10.3390/nu7105417
54. Berman T, Göen T, Novack L, et al. Urinary concentrations of organophosphate and carbamate pesticides in residents of a vegetarian community. *Environ Int*. 2016;96:34-40. doi:10.1016/j.envint.2016.08.027



Figure 1 : Exposition à 25 pesticides (en $\mu\text{g/kg}$ poids corporel/jour) selon le type de régime (1 : omnivore, 2 : pesco-végétarien, 3 : végétarien, 4 : végétalien) et contribution du bio et du conventionnel