



itab

l'Institut de l'agriculture
et de l'alimentation biologiques

Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique

Chapitre santé



Fanny Cisowski, Céline Gentil Sergent,
Rodolphe Vidal, Natacha Sautereau
Mise à jour 2024

Soutenu par



Une étude ITAB avec l'appui de chercheurs

La réalisation de l'étude «Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique» a été confiée à Natacha Sautereau, agronome, coordinatrice du pôle Durabilité-Transition à l'ITAB.

Sous la direction de Natacha Sautereau et après le précédent rapport sur les externalités de l'agriculture biologique publié en 2016, Fanny Cisowski, Bastien Dallaporta, Céline Gentil-Sergent, Eva Lacarce, Rodolphe Vidal ont analysé de mars 2022 à mars 2024 des articles scientifiques, concernant les questions d'évaluations des externalités sur le sol, la biodiversité, le climat, et la santé humaine. Ils ont échangé avec des experts de la thématique (INRAE, INSERM, ISARA) pour produire cette actualisation de l'état de l'art. Les références ont été recherchées dans les bases de données bibliographiques internationales. L'analyse s'appuie en priorité sur des synthèses bibliographiques scientifiques, dont des méta-analyses. Des références françaises et internationales ont été prises en compte. A noter que le poids du contexte (pays, époque) dans les valeurs observées ou attribuées requiert une attention particulière, par rapport à la pertinence d'un transfert à d'autres contextes ou d'une extrapolation.

Cécile Détang-Dessendre, Directrice scientifique adjointe Agriculture et Directrice du métaprogramme bio "METABIO" d'INRAE, a été référente INRAE pour appuyer la mission d'un point de vue institutionnel. Des recommandations ont été formulées par les membres du comité de pilotage, et du conseil scientifique de l'ITAB à deux reprises. A l'issue du travail d'analyse de la bibliographie et après la phase finale de rédaction des chapitres thématiques et de production des résumés, les résultats ont fait l'objet d'une restitution publique le 10 juin 2024.

La Collection "Externalités de l'AB"

Les résultats de cette étude sont présentés sous la forme de quatre chapitres, synthétisés eux-mêmes sous la forme de 4 résumés.

Vous trouverez dans cette collection :

- ▶ Les 4 chapitres qui la composent : **sol, biodiversité, climat, santé**
- ▶ Les 4 résumés de ces chapitres : sol, biodiversité, climat, santé

Tous les livrables de la collection sont téléchargeables sur le site : <https://itab.bio/thematique-en-details/quantification-des-externalites-de-lagriculture-biologique>

Chapitre santé

Ce document constitue le chapitre "Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique : la santé", rédigé par Céline Gentil-Sergent, Fanny Cisowski, Rodolphe Vidal et Natacha Sautereau. La rédaction de ce chapitre a bénéficié en particulier des appuis extérieurs d'experts de la santé : Emmanuelle Kesse-Guyot (INRAE, INSERM), Denis Lairon (INSERM).

290 références bibliographiques ont été mobilisées et figurent dans le chapitre "Santé". Vous trouverez en fin de document une bibliographie sélective.

Ce chapitre pointe les principales externalités de l'Agriculture Biologique concernant la santé, en regard des pratiques couramment mises en œuvre en conventionnel, que ce soit dans le domaine agricole, et dans la transformation des produits. Il aborde l'effet de l'AB sur la santé de la population professionnelle, certaines sous-populations spécifiques, comme les riverains des parcelles agricoles, et les enfants, et la population générale, en étudiant la consommation différenciée avec des parts de produits bio plus ou moins importante.

Table des matières

Table des figures et tableaux	5
Glossaire.....	6
Introduction.....	12
I. Moindres impacts négatifs liés à l'utilisation d'intrants dont l'AB se prive ou qu'elle limite	14
I.1. Les intrants de l'amont agricole	15
I.1.A. Les Produits PhytoPharmaceutiques.....	15
I.1.B. Expositions liées à la fertilisation azotée et phosphatée, et la question des métaux lourds.....	41
I.1.C. Les produits vétérinaires.....	44
I.1.D. Les externalités sanitaires importées	48
I.2. Les intrants utilisés en transformation agro-alimentaire.....	48
I.2.A. Les additifs alimentaires	48
I.2.B. Les auxiliaires technologiques.....	62
I.2.C. Les nanoparticules.....	62
II. Aliments bio et non bio : qualité sanitaire et nutritionnelle	65
II.1. Les contaminants biotiques et abiotiques.....	65
II.1.A. Les contaminants biotiques : cas des champignons mycotoxinogènes et AB	65
II.1.B. Le risque microbiologique en AB.....	66
II.1.C. Les contaminants abiotiques	67
II.2. La qualité nutritionnelle des aliments biologiques améliorée comparée aux aliments conventionnels	68
II.2.A. Les produits bruts.....	68
II.2.B. Produits transformés.....	73
II.2.C. Différences de composition nutritionnelle et impacts sur la santé humaine.....	78
III. Régimes alimentaires biologiques et liens avec la santé : études épidémiologiques.....	81
III.1. Caractérisation des consommateurs de produits biologiques.....	81
III.2. Liens avec les impacts sur le métabolisme humain	82
III.3. Liens avec le risque de diabète de type 2	84
III.4. Liens avec les risques de différents types de cancers.....	85
III.5. Association avec des marqueurs inflammatoires.....	87
III.6. Autres pathologies	87
Conclusion et perspectives.....	89
Liste des références bibliographiques – 30/05/2024.....	91
Annexe 1	105

Comparatif des doses maximales autorisées de nitrites et de nitrates en France et dans l'UE pour les produits de charcuteries.....	105
Annexe 2.....	107
Synthèse Bio & Nutrition.....	107
Intérêts nutritionnels quantifiés des aliments biologique par type de composés	113
Annexe 3.....	116
Recommandation du PNNS 4 – Illustration issue du Programme National Nutrition et Santé 2019-2023 ...	116

Table des figures et tableaux

Figure 1 : Suivi des résidus dans les aliments, issu du programme EU-MACP 2023.	26
Figure 2 : Pourcentage d'échantillons de fruits et légumes contenant des résidus quantifiables.....	26
Figure 3 : Pourcentage d'échantillons contenant des résidus quantifiés et nombre de résidus retrouvés dans les fruits et légumes échantillonnés en Europe en 2018.....	27
Figure 4 : Produits alimentaires non transformés contenant le plus fréquemment des résidus.....	28
Figure 5 : Suivi des résidus dans les aliments biologiques, issu du programme EU-MACP 2023.....	29
Figure 6 : Niveaux de résistances E. Coli face à différents antibiotiques chez les poulets de chair en France....	45
Figure 7 : Nombre d'additifs autorisés en Europe pour la transformation des aliments conventionnels et biologiques	50
Figure 8 : Représentation des ventes de produits alimentaires en France en fonction de leur classification Nova et de leur lieu de vente	60
Figure 9 : Répartition des produits biologiques et conventionnels selon leurs Nutriscore	75
Figure 10 : Cartographie des groupes de consommateurs identifiés dans BioNutrinet.....	81
Tableau 1 : Différentes classifications pour le caractère cancérigène des produits phytopharmaceutiques	17
Tableau 2 : Comparaison des concentrations moyennes de résidus de PPP par échantillon de produits frais..	30
Tableau 3 : Effet des principales formes d'azote dans l'environnement sur la qualité de l'air, du sol et de l'eau, et à travers ces milieux, sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, et la santé humaine.....	42
Tableau 4 : Comparaison de la présence de bactéries et de gènes de résistance antibiotique entre aliments conventionnels et bio.....	47
Tableau 5 : Additifs alimentaires les plus couramment utilisés en France (selon Oqali, 2019), usages et autorisation en bio.	50
Tableau 6 : Additifs pouvant présenter des risques pour la santé, l'exposition des consommateurs, leurs usages, leur autorisation par la réglementation Bio ainsi que les risques suspectés liés à leur consommation.....	57
Tableau 7 : Résultats de Meadows et al. (2021) ayant analysé des produits emballés vendus aux Etats-Unis ...	74
Tableau 8 : Répartition du groupe Nutriscore et par type de magasin	76
Tableau 9 : Synthèse des résultats obtenus par différentes études de cohorte sur l'impact de la consommation d'aliments biologiques vs non-bio sur différentes pathologies.....	86

Glossaire

AB (Agriculture Biologique) : L'agriculture biologique est un mode de production qui a pour objectifs "le respect de l'environnement et de la protection du climat, de la biodiversité, de la santé humaine et du bien-être animal". Réglementée au niveau européen depuis 1991, c'est désormais le règlement européen (UE) 2018/848, appliqué depuis le 1er janvier 2022 qui précise l'ensemble des règles à suivre concernant la production, la transformation, la distribution, l'importation, le contrôle et l'étiquetage des produits biologiques. Les opérateurs de la filière bio sont contrôlés au moins une fois par an par des organismes certificateurs agréés par les pouvoirs publics. Soucieuse des équilibres naturels, elle exclut le recours aux OGM, restreint strictement l'usage des produits chimiques de synthèse et limite le recours aux intrants. L'agriculture biologique fait partie des signes officiels d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO). Dans ce texte, AB, le Bio, la Bio, Agriculture Biologique sont utilisés en synonymes.

AG (Acides Gras) et **AGPI** (Acides Gras Polyinsaturés) : Les acides gras sont des constituants essentiels des lipides et se trouvent dans de nombreux aliments. Ils sont essentiels au bon fonctionnement de notre organisme et sont nécessaires pour la production d'énergie, la construction des membranes cellulaires et la synthèse de certaines hormones. Les acides gras poly-insaturés sont une sous-catégorie d'acides gras réputés pour leurs effets bénéfiques sur la santé, notamment dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Ces acides gras sont souvent présents dans les poissons gras, les huiles de poissons, les noix et les graines. La consommation d'acides gras insaturés dans le cadre d'une alimentation équilibrée est recommandée pour maintenir une bonne santé et prévenir les maladies cardiovasculaires.

Agreste : Agreste est un site géré par le Service de la Statistique et de la Prospective du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, qui permet de consulter des données statistiques agricoles sur des sujets variés, comme la conjoncture agricole, ou encore les rendements céréaliers, du prix du lait, de la production viticole, aux résultats économiques.

AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) : À chaque spécialité commerciale correspond un numéro d'autorisation de mise sur le marché (AMM), qui figure sur l'emballage. La réglementation limite l'application des produits phytosanitaires aux seuls usages pour lesquels ils sont homologués. Depuis le 1er juillet 2015, c'est l'Anses qui gère la gestion des autorisations de mise sur le marché (AMM) des produits phytopharmaceutiques, des matières fertilisantes et supports de culture, et des adjuvants.

ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) : L'ANSES est un établissement public français, placé sous la tutelle des ministères de la Santé, de l'Agriculture, de l'Environnement, du Travail et de la Consommation. Sa mission principale est l'évaluation des risques sanitaires dans les domaines de l'alimentation, de l'environnement et du travail, en vue d'éclairer la décision publique.

AUT (Aliments Ultra-transformés) : aliments caractérisés par leur formulation comprenant des substances chimiquement modifiées extraites d'aliments, ainsi que d'additifs utilisés pour améliorer le goût, la texture, l'apparence et la conservation.

CIRC ou IARC (Centre International pour la Recherche sur le Cancer, ou International Agency for Research on Cancer) : Le Centre international de Recherche sur le Cancer est une agence intergouvernementale de recherche sur le cancer, créée en 1965 par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) des Nations unies. L'objectif du CIRC est de promouvoir la collaboration internationale dans la recherche sur le cancer. Le Centre est interdisciplinaire, et réunit des compétences dans les disciplines de laboratoire, en épidémiologie et en biostatistique pour identifier les causes du cancer. Il évalue tout type de molécules ou produits, alimentaires ou non, quant à leur risque cancérigène.

CMR (produits Cancérogènes, Mutagènes ou Reprotoxiques) : Ces substances chimiques appartiennent à la première classe de toxicité (la plus toxique), selon l'échelle de classement des substances chimiques dangereuses établie par la législation de l'UE.

DJA (Dose Journalière Admissible) : La DJA est la quantité d'une substance qu'un individu devrait pouvoir ingérer chaque jour, sans risque pour la santé. Elle est habituellement exprimée en mg de substance par kg de poids corporel et par jour.

ECHA (European Chemicals Agency, ou Agence Européenne des Produits Chimiques) : C'est une agence européenne créée par le règlement REACH, en 2007. Elle joue le rôle de régulateur des substances chimiques. En fonction des données des entreprises référencées dans le cadre du REACH, elle évalue la dangerosité des actifs chimiques.

EFSA (European Food Safety Authority) : L'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) est une agence de l'Union européenne chargée de fournir des avis scientifiques indépendants sur la sécurité des aliments et des aliments pour animaux. Elle évalue les risques liés à la chaîne alimentaire, y compris les additifs alimentaires, les pesticides, les organismes génétiquement modifiés (OGM) et les contaminants. L'EFSA est également responsable de la nutrition, de la santé animale et de la protection des consommateurs en ce qui concerne les aspects liés à l'alimentation. Son objectif principal est de garantir que les aliments commercialisés dans l'UE sont sûrs pour la consommation humaine et animale. Elle fournit des conseils aux décideurs politiques et aux autorités nationales pour soutenir la prise de décision fondée sur des preuves scientifiques solides. L'EFSA joue un rôle central dans la protection de la santé publique et dans le maintien de la confiance des consommateurs dans la sécurité alimentaire en Europe.

EGTOP (Expert Group for Technical Advice for Organic Production) : Il s'agit d'un groupe d'expert mandaté par la commission européenne pour donner un éclairage technique afin de faire évoluer la réglementation biologique européenne.

EREN : Equipe de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle (Inserm 1153/Inra 1125/Cnam/Université de Paris - Paris 13) a pour objectif d'étudier les relations entre nutrition et santé, les mécanismes sous-jacents et les déterminants des comportements alimentaires. L'objectif final est de fournir des connaissances scientifiques afin de guider le développement de politiques nutritionnelles de santé publique. L'EREN est la seule équipe de recherche française dédiée à l'épidémiologie nutritionnelle et la santé, dans toutes ses dimensions, et une des rares au niveau international.

FAO (Food and Agriculture Organisation) : Agence spécialisée des Nations Unies fondée en 1975, dont l'objectif est "d'atteindre la sécurité alimentaire pour tous et d'assurer un accès régulier et suffisant à tous, de mener une vie saine et active".

HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique) : Le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) est une instance française chargée d'apporter une aide à la décision aux pouvoirs publics, en lien avec les agences sanitaires, l'expertise nécessaire à la conception et à l'évaluation des politiques et stratégies de prévention et de sécurité sanitaire.

INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) : L'INERIS est un établissement public dédié à la prévention des risques liés aux activités industrielles et technologiques. Il réalise des études, des recherches et des expertises permettant d'évaluer les impacts des activités industrielles sur l'environnement et de proposer des solutions pour les réduire. L'INERIS fournit également des informations et des outils pour améliorer la gestion des risques liés aux produits chimiques, aux installations industrielles et aux activités nucléaires. Son objectif global est de contribuer à la sécurité et à la protection de l'environnement tout en favorisant le développement durable des activités industrielles.

INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) : INRAE est né le 1er janvier 2020 ; il est issu de la fusion entre l'Inra, Institut national de la recherche agronomique et Irstea, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture. En proposant par la recherche, l'innovation et l'appui aux politiques publiques de nouvelles orientations pour accompagner l'émergence de systèmes agricoles et alimentaires durables, INRAE ambitionne d'apporter des solutions pour la vie, les humains et la terre.

INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) : L'INSERM est un établissement public à caractère scientifique et technologique français spécialisé dans la recherche médicale. Il est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et du ministère des Solidarités et de la Santé. Créé en 1964, son objectif est de faire progresser les connaissances sur le vivant et sur les maladies et développer l'innovation pour améliorer la santé de tous. L'Inserm assure sa mission d'expertise et de transfert des connaissances auprès des décideurs dans le domaine de la santé publique, en apportant un éclairage scientifique indispensable à la prise de décision sur des questions de politique publique de santé.

LMR (Limite Maximale de Résidus) : Il s'agit d'un seuil réglementaire fixé par les autorités pour la quantité maximale de résidus de produits chimiques autorisée dans les aliments. Ces limites sont établies afin de protéger la santé publique en garantissant que les aliments contiennent des niveaux sécuritaires de résidus de pesticides, de médicaments vétérinaires ou d'autres substances chimiques. Les LMR sont basées sur le respect des bonnes pratiques agricoles et sur des évaluations scientifiques approfondies des effets de ces résidus sur la santé humaine et sont généralement exprimées en milligrammes par kilogramme (mg/kg) ou en parties par million (ppm). Les producteurs d'aliments doivent veiller à respecter ces LMR lors de la production, de la transformation et de la commercialisation des aliments afin de garantir leur conformité aux réglementations sanitaires.

LOQ (Limit of Quantification) ou **LQ** (Limite de Quantification) : il s'agit d'un seuil analytique à partir duquel la molécule analysée peut être quantifiée.

Méthode USEtox : La méthode USEtox est un cadre d'évaluation de l'impact toxique des produits chimiques sur l'environnement et la santé humaine. Elle combine des modèles mathématiques avec des données biologiques et chimiques pour évaluer les effets toxiques potentiels des substances chimiques. La méthode USEtox prend en compte différentes voies d'exposition, telles que l'ingestion, l'inhalation et l'absorption cutanée, ainsi que les différents itinéraires de propagation dans l'environnement. Elle vise à fournir une évaluation complète des risques liés aux produits chimiques, en prenant en compte les différentes étapes du cycle de vie. Elle peut être utilisée pour comparer les substances chimiques entre elles et pour soutenir la prise de décision dans le développement de produits plus durables et moins toxiques. L'application de la méthode USEtox aide ainsi à réduire l'impact des produits chimiques sur la santé humaine et l'environnement.

MNT (Maladies Non Transmissibles) : les maladies non transmissibles (MNT) sont des maladies non infectieuses et non transmissibles. Elles comprennent les maladies auto-immunes, la plupart des cancers, l'asthme, le diabète, les maladies cardio-vasculaires... Selon l'OMS, elles sont responsables de 41 millions de décès chaque année, soit 74 % de l'ensemble des décès dans le monde. Le tabac, l'alcool, l'inactivité physique, une mauvaise alimentation et la pollution de l'air augmentent le risque de décéder d'une MNT.

MTECT : Le Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion Territoriale est chargé de mettre en oeuvre des politiques visant à préserver l'environnement et à promouvoir le développement territorial équilibré. Ses missions couvrent notamment la transition énergétique, la protection de la biodiversité, la gestion des ressources naturelles, l'aménagement du territoire et la lutte contre le changement climatique.

MUT (Marqueurs d'ultra-transformation) : Ce sont des procédés de transformation des aliments ou des ingrédients utilisés pour modifier les propriétés sensorielles de l'aliment. Ce sont les additifs dits "cosmétiques" (colorants, agents de texture...), les arômes, certaines techniques de transformation (soufflage, cuisson extrusion, hydrogénation...), les ingrédients et additifs issus du cracking (amidon modifiés, sirop de glucose, isolat de fibres, huiles hydrogénées...).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé) : L'Organisation mondiale de la santé est une agence créée en 1948 spécialisée des Nations Unies chargée de promouvoir la santé, de prévenir les maladies et d'améliorer les conditions de vie des populations du monde entier. L'OMS travaille en collaboration avec les pays membres pour développer des politiques de santé, fournir une expertise technique, coordonner les efforts de lutte contre les épidémies et faciliter l'accès aux services de santé. L'organisation joue un rôle clé dans la surveillance et la réponse aux crises sanitaires mondiales, fournissant des recommandations et des directives basées sur des preuves scientifiques.

OQALI : L'observatoire de l'alimentation (Oqali), a été créé par la loi 2010-874 de modernisation de l'agriculture et de la pêche, et confirmé par la loi dite « Egalim » du 30 octobre 2018. Il a pour mission d'exercer un suivi global de l'offre alimentaire des produits transformés présents sur le marché français en mesurant l'évolution de la qualité nutritionnelle (composition nutritionnelle et informations sur les étiquetages). La mise en oeuvre de l'Oqali a été confiée à l'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) et à l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) par les ministères en charge de l'alimentation, de la santé, et de la consommation.

PNSE (Plan National Santé Environnement) : Le Plan National Santé Environnement est une initiative mise en place par le gouvernement français dans le but d'améliorer la santé des individus en agissant sur les facteurs environnementaux. Il vise à prévenir et réduire l'impact des différents risques environnementaux sur la santé, tels que la pollution de l'air, de l'eau, les produits chimiques toxiques, les nuisances sonores, etc. Le PNSE met en place des actions de sensibilisation, de surveillance et de recherche pour évaluer les impacts sur la santé de l'environnement ainsi que des actions de prévention pour réduire ces risques. Il promeut également l'éducation à l'environnement et la formation des professionnels de santé.

PNNS : Le Programme National Nutrition Santé (PNNS) est un programme de prévention mis en place en France en 2001 pour améliorer l'état de santé de la population en favorisant une alimentation équilibrée et une pratique régulière d'activité physique. Il vise à lutter contre les principales maladies liées à la nutrition comme l'obésité, le diabète ou les maladies cardiovasculaires. Le PNNS propose des recommandations et des actions de sensibilisation afin d'encourager les individus à adopter des comportements alimentaires et physiques sains. Il repose sur une collaboration entre les autorités publiques, les professionnels de santé et les acteurs de la société civile. Ce programme a été reconduit en 2006 (PNNS-2), en 2011 (PNNS-3) et en 2019 (PNNS-4).

POP (Polluant Organique Persistant) : Le terme POP recouvre un ensemble de substances organiques qui possèdent 4 propriétés : persistantes, bioaccumulables, toxiques et mobiles. Les POP peuvent être produits soit de manière intentionnelle en tant que pesticides ou pour certains usages industriels, soit de manière non intentionnelle (par exemple durant la combustion à l'air libre des déchets et de la biomasse, ou l'incinération des déchets, ou durant les processus industriels). La rémanence, la toxicité des POP et surtout leur propagation à longue distance, loin de leurs sources d'émission, représentent une menace pour la santé et pour l'environnement à l'échelle planétaire, y compris dans des régions où ils n'ont pas été utilisés.

PPP (Produit phytopharmaceutique ou Produit de Protection des Plantes) : Produit destiné à protéger les végétaux contre les organismes nuisibles. Dans le document, nous utilisons également parfois le terme « pesticide ».

PREPA (Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques) : Le PREPA est une initiative du ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) visant à réduire les émissions de polluants dans l'air. Son principal objectif est de préserver la qualité de l'air, en limitant les émissions de substances polluantes provenant de diverses sources, telles que les activités industrielles, le transport ou encore l'agriculture. Ce plan implique la mise en oeuvre de mesures concrètes pour atteindre les objectifs fixés. Définissant la stratégie nationale, ce plan contribue ainsi au respect par la France de ses engagements européens.

Programme REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) : Le programme REACH vise à garantir la sécurité des produits chimiques utilisés en Europe en les enregistrant, en les évaluant, en les autorisant et en restreignant leur utilisation lorsque cela est nécessaire pour protéger la santé humaine et l'environnement. Il s'agit d'un règlement de l'Union européenne adopté en 2007 et entré en vigueur en 2008. REACH vise à protéger la santé humaine et l'environnement en assurant une gestion adéquate des produits chimiques utilisés dans l'industrie manufacturière et dans les produits de consommation. Il impose des obligations aux entreprises pour qu'elles enregistrent, évaluent et autorisent les substances chimiques qu'elles fabriquent ou importent dans l'Union européenne, et éventuellement restreignent l'utilisation de certaines substances particulièrement préoccupantes. Le règlement REACH s'applique à toutes les substances chimiques produites ou importées en quantités supérieures à une tonne par an. Son objectif est de remplacer progressivement les substances chimiques les plus dangereuses par des alternatives plus sûres, d'améliorer la transparence des informations sur les substances chimiques et de promouvoir leur utilisation responsable. Le programme REACH a mis en place l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) chargée de coordonner et de mettre en oeuvre ses dispositions. Il a également créé une base de données, appelée Base de données REACH, où les entreprises doivent fournir des informations sur les substances chimiques qu'elles fabriquent, importent ou mettent sur le marché.

RMQS (Réseau de Mesures de la Qualité des Sols) : Le RMQS est un programme national ambitieux, financé par le Gis Sol et coordonné par l'unité Info&Sols INRAE Val-de-Loire. Le réseau RMQS repose sur le suivi de 2240 sites répartis uniformément sur le territoire français (métropole et outre-mer). Des prélèvements d'échantillons de sols, des mesures et des observations sont effectués tous les quinze ans. Il mobilise un ensemble d'équipes partenaires techniques et scientifiques en régions. Le programme place les sols et leur protection au coeur des défis actuels en termes de santé et d'environnement, de biodiversité et de changement climatique. Il s'intègre dans un dispositif européen plus large de surveillance des sols.

SA (Substance Active) : Les substances actives constituent le principe actif des produits : ce sont elles qui agissent sur les nuisibles. Les substances actives sont homologuées au niveau européen après le dépôt d'un dossier et l'examen selon les normes européennes.

Santé Publique France : Santé Publique France est l'agence nationale de santé publique en France. Sa mission principale est de protéger et améliorer la santé de la population française. Elle réalise des actions de prévention, de surveillance, d'évaluation et de gestion des risques sanitaires. Santé Publique France joue un rôle clé dans la coordination des actions de santé publique, en collaborant avec les autorités nationales, régionales et locales.

UAB (substances Utilisables en Agriculture Biologique) : Les produits utilisables en agriculture biologique (UAB) sont des produits phytopharmaceutiques ayant une autorisation de mise sur le marché et dont les substances actives sont inscrites à l'annexe I du règlement UE 2021/1165. Ce sont exclusivement des produits d'origine naturelle (animale, végétale, minérale).

US EPA (United States Environmental Protection Agency) : Créée en 1970, c'est une agence indépendante du gouvernement des États-Unis, dont les activités sont contrôlées par le Comité des sciences, de l'espace et des technologies de la Chambre des représentants des États-Unis. Sa mission est de « protéger la santé humaine et



de sauvegarder les éléments naturels — l'air, l'eau et la terre — essentiels à la vie ». L'agence élabore et fait respecter la réglementation sur l'environnement, gère les allocations budgétaires qui appuient les programmes environnementaux, effectue la recherche relative aux questions environnementales et en informe le public américain.

Introduction

La santé humaine est caractérisée par de multiples interactions entre facteurs environnementaux (expositions à des polluants, nuisances...), biologiques (prédisposition génétique, âge, sexe...) et sociaux (catégories socio-professionnelles, conditions de logement...).

Le concept d'« Une seule santé » (ou « One Health »), défini en 2008 et porté par l'Organisation des Nations Unies (ONU), vise à rendre compte des liens et interactions entre santé humaine, santé animale, et santé environnementale. Il faut souligner qu'il a fallu presque 15 ans pour que les préconisations de 2008 proposant d'établir des interconnexions entre les dispositifs de veille et de surveillance sanitaire et environnementale soient mieux prises en compte (Marano F., 2022). Certains Objectifs de Développement Durable que l'ONU a décliné dans son programme à échéance 2030 contribuent à mettre œuvre ce concept « d'une seule santé », via en particulier les objectifs 3 : « bonne santé et bien-être » et 12 : « consommation et production responsables ».

Au départ, les premières réflexions « Une seule santé » étaient axées majoritairement sur les questions de zoonoses et/ou sur des effets enclins à rendre le franchissement de barrières des espèces possible, avec des exemples emblématiques tels que la crise de la vache folle, l'émergence ou la lutte contre l'antibiorésistance, la présence de pathogènes, les mycotoxines.

L'approche "Une seule santé" s'est élargie, prenant en compte que i) notre environnement est globalisé (des effets de pratiques locales peuvent avoir des répercussions au niveau global) et ii) sa contamination n'est pas sans conséquences sur les écosystèmes naturels et les milieux anthropisés, et ce parfois sur des horizons temporels longs. Ainsi, les produits phytopharmaceutiques (PPP) n'étaient initialement pas considérés par cette approche alors qu'ils contaminent des éléments nécessaires à toute vie, comme l'eau ou l'air (Zaller et al., 2022). Cet angle de vue intégrant l'impact des pesticides permet une approche englobante de ce concept : c'est d'ailleurs l'ambition que proposent des projets dans le cadre de deux Appels Ecophyto II+ « Santé et Ecosystèmes » et « Une seule santé ».

Comme tous les pays dits « développés », la France est confrontée à une progression des maladies chroniques (diabète, maladies respiratoires, maladies inflammatoires, cancers hormono-dépendants, etc.) et à une augmentation des troubles de la fertilité et de la reproduction, troubles pour lesquels le facteur environnemental est largement mis en avant, mais reste difficile à caractériser, dans une population confrontée par ailleurs à un vieillissement sans précédent. L'OMS estime que 23 % de la mortalité mondiale est liée à l'environnement, ce qui représente 12,6 millions de décès par an, dont 1,4 million pour l'Europe. Les substances chimiques toxiques contribuent à cette mortalité (Landrigan et al., 2018; Fuller et al., 2022) avec des effets sur la santé sur plusieurs générations (McCord et al., 2023). Les coûts pour la société sont difficiles à estimer avec précision, mais, certaines études évaluent, par exemple, les externalités négatives liées en particulier aux perturbateurs endocriniens à 160 milliards d'euros par an pour le système de santé européen, sans compter notamment les coûts environnementaux¹, et à plus de 48 millions attribuables aux pesticides de synthèse pour la France (Alliot et al., 2022).

Les publications qui ont estimé, à dire d'expert, la fraction de maladies attribuables aux produits chimiques, proposent un large éventail allant de 1 % à 40 % selon les types de produits chimiques et les maladies (Brignon et Payrastra, 2022). En ce qui concerne plus particulièrement les cancers, l'Agence Européenne pour l'Environnement publie en 2022² une analyse sur les causes environnementales des cas de cancer en Europe,

¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-sur-perturbateurs-endocriniens>

² <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-burden-of-cancer>

avec un focus sur l'exposition aux polluants, et estime que l'exposition à l'ensemble des polluants (pollution atmosphérique, à la fumée de tabac ambiante, au radon, aux rayonnements ultraviolets, à l'amiante, à certaines substances chimiques et à d'autres polluants) provoque plus de 10 % des cas de cancer en Europe.

Pour évaluer les externalités sanitaires de l'agriculture biologique (AB), nous avons opté pour une démarche visant à quantifier :

- ▶ Des **écarts de risques pour les impacts négatifs** liés à l'utilisation d'intrants dont l'AB se prive ou qu'elle limite. Une première partie traitera en particulier des produits phytopharmaceutiques (PPP), puis des fertilisants azotés et phosphatés, et des produits à usage vétérinaire tels que les antibiotiques. Ces risques sont estimés pour des sous-populations, à savoir i) les **populations professionnelles, les plus exposées aux usages d'intrants agricoles**, ii) la **population générale**, exposée principalement par l'alimentation, et iii) de **façon « intermédiaire », les riverains des parcelles agricoles**, qu'un certain nombre de travaux commencent à étudier (étude Pestiriv de Santé Publique France en cours).
- ▶ Une seconde partie traitera des effets liés aux usages d'intrants apportés par l'aval des filières alimentaires ou agro-alimentaires (en spécifiant les interdictions et/ou restrictions d'usage pour les additifs alimentaires et auxiliaires technologiques utilisables en Bio), et explorera le volet « ultra-transformation », à partir de premiers travaux caractérisant l'offre commerciale de produits alimentaires Bio versus non Bio.
- ▶ Des **différences d'impacts relatifs aux qualités nutritionnelles** de produits bio/non bio. Des études cherchant à identifier si et dans quelle mesure les pratiques bio/non bio peuvent engendrer des qualités nutritionnelles différenciées en termes de composition (oligo-éléments, vitamines, acides gras, antioxydants...) seront analysées.
- ▶ Des effets globaux à l'échelle des régimes alimentaires : nous avons pris en compte des études épidémiologiques de cohortes se penchant sur l'analyse **des régimes alimentaires de consommateurs « bio »** (grands mangeurs de produits bio) versus « non bio ». Au-delà de la caractérisation des spécificités des régimes bio/non bio, les travaux permettent d'identifier des associations **différenciées pour certaines pathologies**.

Cette partie, à l'échelle des régimes, est donc une résultante intégrant à la fois les deltas de risques pour les impacts négatifs, et les deltas d'impacts positifs (atouts sanitaires).

I. Moindres impacts négatifs liés à l'utilisation d'intrants dont l'AB se prive ou qu'elle limite

Il s'agit d'évaluer des **deltas de risques** induits par l'usage d'intrants dont l'AB se prive ou qu'elle limite sur les milieux et in fine sur les humains. Les recherches pour évaluer ces risques nécessitent plusieurs étapes :

- a. Caractériser et quantifier les utilisations desdits intrants, et leurs propagations et accumulations
 - ▶ Les pratiques agricoles réalisées (imposées par la réglementation et induites) en AB ont été comparées à celles réalisées en agriculture dite conventionnelle, regroupant l'ensemble des autres méthodes de production agricole (voir chapitre introductif)
 - ▶ De même, les itinéraires de transformation spécifiques en AB ont été pris en compte avec notamment l'interdiction du recours à certains additifs et la restriction d'usage pour d'autres
- b. **Analyser les expositions** qui peuvent être directes et/ou indirectes. L'exposome représente la totalité des expositions à des facteurs environnementaux, y compris celles liées à l'environnement, au régime alimentaire, au comportement et aux processus endogènes que subit un organisme – humain ou autre – de sa conception à sa fin de vie en passant par le développement in utero. Les différentes **voies d'expositions aux intrants** apportées dans l'agriculture et la transformation des produits pour les humains sont multiples et peuvent se conjuguer pour certaines sous-populations (professionnels agricoles, et riverains), à savoir les voies :
 - ▶ Respiratoire par inhalation
 - ▶ Cutanée via la migration percutanée des substances dans l'organisme
 - ▶ Orale via l'alimentation, directement lors de l'ingestion d'eau ou d'aliments contenant des substances indésirables, comme les résidus de produits de protection des plantes ou intentionnellement ajoutés (additifs), ou encore indirectement par transfert de molécule d'un contenant ou d'une surface vers l'eau de boisson ou un produit alimentaire. L'alimentation est la voie majoritaire d'exposition aux résidus d'intrants agricole et agroalimentaire pour la population générale.
- c. **Déterminer des** effets liés à ces expositions, à savoir les émergences de pathologies, étape qui requiert des études **de toxicologie et d'épidémiologie**. Il s'agit de **liens** qui sont identifiés, et non de causalités. En ce qui concerne la question **de l'établissement des causalités**, on peut souligner d'ores et déjà les difficultés à les établir du fait du caractère multifactoriel des maladies et des effets retards par rapport aux expositions. Par ailleurs, d'un point de vue scientifique, les causalités ne sont démontrées que par des études expérimentales (dites d'intervention) versus situation de contrôle qui ne sont pas éthiquement envisageables et/ou financièrement ou techniquement possibles dans le champ de l'alimentation humaine avec des intrants potentiellement nocifs.

I.1. Les intrants de l'amont agricole

I.1.A. Les Produits PhytoPharmaceutiques

I.1.A.1) Contexte et rappels réglementaires

Les PPP se présentent sous forme de préparations commerciales contenant la ou les substances actives (SA) et un ou des co-formulants (adjuvants, mouillants, synergistes...).

Les metteurs sur le marché doivent prouver, au titre du règlement (CE) 1107/2009 que le PPP est efficace et que son utilisation ne pose pas de risque pour le travailleur, le consommateur ou l'environnement. Des requis réglementaires renseignent sur les exigences en matière de donnée pour les SA (règlement (UE) 283/2013) et les PPP (règlement (UE) 284/2014). En complément de ces requis, des méthodes d'essai et des documents d'orientation ont été développés (par l'OCDE, l'OEPP, l'EFSA, ...) et servent à la fois aux metteurs sur le marché pour la réalisation d'études mais également aux autorités compétentes des Etats Membres de l'UE (rôle d'évaluation - ANSES pour la France) et à l'EFSA (European Food Safety Authority - rôle de coordination) pour l'évaluation de la validité de ces études.

Le risque sur la santé humaine lié à l'utilisation de PPP est le résultat de la combinaison entre la toxicologie propre au PPP et l'exposition de la population (consommateur, travailleur agricole, riverain) à ce PPP et qui dépendra des propriétés physico-chimiques du PPP mais également de son utilisation.

Sur le volet toxicologie, chaque SA est classée par l'ECHA (European Chemical Agency) au titre du règlement Classification, Labelling, Packaging (CLP) pour les PPP (règlement (CE) 1272/2008) dans des classes de danger (cancérogénicité, toxicité aiguë, ...) avec une division en catégories de dangers (danger décroissant de 1 à 4 max). Si une SA remplit un des critères d'exclusion définis dans le règlement (CE) 1107/2009, elle ne peut être approuvée ou réapprouvée. Parmi ces critères on retrouve notamment (liste non exhaustive) les CMR 1A et 1B (Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique), les POP (Polluant Organique Persistant) et les PE (Perturbateur Endocrinien).

Une SA approuvée fera partie soit des micro-organismes, soit de l'une des 3 catégories suivantes classés dans l'ordre croissant de préoccupation d'un point de vue toxicologie/écotoxicologie : substances de base (critères de classification listés dans l'Article 23 du règlement (UE) 1107/2009), substances faible risque (critères de classification listés dans le point 5 de l'annexe II du règlement (UE) 1107/2009) et substances candidates à la substitution (critères de classification listés dans le point 4 de l'annexe II du règlement (UE) 1107/2009). Le reste des substances qui ne sont dans aucune de ces catégories sont décrites ci-dessous comme 'standard' et se placent, en termes de préoccupation d'un point de vue toxicologie/écotoxicologie dans une gamme assez large entre les substances faible risque et les substances candidates à la substitution.

Sur le volet exposition, les agriculteurs, salariés agricoles, et résidents sont exposés principalement par voie cutanée et respiratoire selon différents scénarios d'exposition, les consommateurs, quant à eux, sont exposés par voie orale via l'alimentation selon différents régimes alimentaires,

Les seuils de toxicité combinant les aspects toxicologie et exposition ci-dessus sont appelés des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) et sont définis par les autorités compétentes. Ils sont classés en fonction de leur type d'exposition (chronique et parfois aiguë) et sont basés sur l'effet le plus critique parmi les effets néfastes observés dans les études dose-réponse sur animaux. On retrouve ainsi par exemple une VTR chronique pour le consommateur via l'alimentation appelée DJA (Dose Journalière Admissible ou Acceptable Daily Intake ADI en anglais) ou encore une VTR aiguë pour le travailleur via exposition cutanée et respiratoire appelée AAOEL

(Acute Acceptable Operator Exposure Level). Ces VTR garantissent pour les différentes populations européennes un risque acceptable pour la santé tout au long de la vie humaine.

Les Limites Maximales de Résidu (LMR) sont fixées dans le cadre du règlement (CE) 396/2005 en fonction des usages et reflètent les bonnes pratiques agricoles liées à l'usage de la SA. Les LMR ne sont donc pas des VTR mais sont nécessaires dans le cadre de contrôles afin d'identifier des mésusages de PPP. Sauf exceptions, pour une culture sur laquelle il n'existe pas d'usage autorisé de la substance, la LMR sera fixée par défaut à la limite de quantification atteignable par les laboratoires en analyse de routine en accord avec le principe de risque ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Les substances inscrites à l'annexe IV du règlement LMR n'ont pas besoin de LMR et d'autres substances ont par défaut une LMR de 0,01 mg/kg pour toutes les denrées en application de l'article 18(1)(b) ce qui traduit une faible exposition du consommateur via l'alimentation.

La toxicité des substances actives des PPP est évaluée par différents organismes (voir tableau 1 pour le caractère cancérogène des PPP). Les données réglementaires européennes sont définies par le programme REACH (Enregistrement, évaluation et autorisation des produits chimiques – ECHA : European Chemical Agency). La classification de la toxicité de ces substances actives se fait à partir du numéro CAS, définissant chaque substance active (SA). Les autres caractéristiques toxicologiques des substances actives sont également disponibles dans des bases de données telles que la PPDB (Pesticides Property Database -The University of Hertfordshire Agricultural Substances Database) ou encore la base de données du PAN (Pesticide Action Network). Ces bases de données ne renseignent pas le caractère toxicologique d'un produit commercial qui pourrait contenir plusieurs substances actives, ou encore le caractère toxicologique des adjuvants contenus dans le produit commercial.

Classification des effets cancérogènes selon le niveau de preuve	Classification de l'UE	Classification du Circ	Classification de l'US EPA
Avérés	Catégorie 1A : substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré	Groupe 1 : agent cancérogène (parfois appelé cancérogène avéré ou cancérogène certain).	<i>À partir de 2005 : Carcinogenic to humans</i> <i>Avant 2005 : Catégorie A :</i> cancérogène humain
Supposés	Catégorie 1B : substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	Groupe 2A : agent probablement cancérogène	<i>À partir de 2005 : Likely to be carcinogenic to humans</i> <i>Avant 2005 : Catégorie B :</i> cancérogène humain probable Catégorie B1 : les preuves apportées par les données épidémiologiques sont limitées. Catégorie B2 : les preuves apportées par les données épidémiologiques sont inadéquates ou inexistantes. Cependant, les preuves apportées par les études chez l'animal sont suffisantes
Suspectés	Catégorie 2 : substances suspectées d'être cancérogènes pour l'homme	Groupe 2B : agent peut-être cancérogène (parfois appelé cancérogène possible)	<i>À partir de 2005 : Suggestive evidence of carcinogenic potential</i> <i>Avant 2005 : Catégorie C :</i> cancérogène humain possible
Peu probables	-	Groupe 3 : agent inclassable quant à sa cancérogénicité Groupe 4 : agent probablement pas cancérogène	<i>À partir de 2005 : Inadequate information to assess carcinogenic potential / not likely to be carcinogenic to humans</i> <i>Avant 2005 : Catégorie D :</i> inclassable concernant la cancérogénicité humaine / Catégorie E : non cancérogène pour l'humain
Non évalués	-	-	-

Tableau 1 : Différentes classifications pour le caractère cancérogène des produits phytopharmaceutiques : Union Européenne – UE, CIRC (Centre international de recherche sur le cancer, Organisation mondiale de la santé de l'ONU) et US EPA (Agence de protection de l'environnement des États-Unis) (Source : Gentil et al. 2018)

Des évaluations de toxicité incomplètes

Plusieurs problématiques se posent : les évaluations de risque concernent les substances actives, or :

- Les substances actives sont associées à des adjuvants dont les effets ne sont pas toujours évalués de façon harmonisée,
- Les substances actives se dégradent en métabolites (les effets des “métabolites” sont peu évalués, or ils peuvent être plus nocifs que la substance mère),
- Les substances sont évaluées individuellement mais ont des effets liés aux mélanges lors de l'exposition (en particulier “effet cocktail”) (Mesnage et al., 2019),
- Certains effets spécifiques sont particulièrement mal appréhendés, à savoir ceux des perturbateurs endocriniens (effet “faibles doses”) ; les effets nocifs des substances chimiques étant classiquement décrits dans les études de toxicologie comme proportionnels à la dose testée, ce qui n'est pas forcément le cas pour les perturbateurs endocriniens.

En outre, l'évaluation toxicologique de certaines molécules inorganiques sont lacunaires (Kirchhübel et Fantke, 2019). Cependant, les autorités européennes émettent des recommandations pour mieux évaluer les effets combinés de différentes substances sur l'environnement et la santé humaine (McEntaggart et al., 2019).

Les adjuvants

Les adjuvants sont généralement appelés « ingrédients inertes » dans la littérature. Ils ont pour objectif d'améliorer l'efficacité de la substance active (ex. solvants, tensioactifs, conservateurs), en facilitant par exemple le contact avec les feuilles de la culture. Ces substances ne présentent pas d'activité phytopharmaceutique avérée mais peuvent néanmoins être biologiquement ou chimiquement actives et peuvent donc provoquer des effets indésirables sur les organismes cibles et non cibles (INSERM, 2021 ; Mesnage et Antoniou, 2017). Par exemple, des études réalisées sur différents produits commerciaux contenant du glyphosate avec des formulations d'adjuvants différentes montrent des effets de perturbations endocriniennes et de reprotoxicité (Defarge et al., 2016 ; Vanlaeys et al., 2018 ; Séralini et Jungers, 2020).

Certaines études montrent parfois que l'adjuvant a un effet toxicologique plus important que la substance active (Vanlaeys et al., 2018). Autre exemple, l'huile de paraffine appliquée seule ou en mélange avec des substances fongiques, présente une composition complexe pouvant varier en fonction de la méthode de raffinage : ainsi, l'huile peut contenir des impuretés sous forme de benzène et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, qui sont toutes deux classées cancérogènes certains (groupe 1 par le CIRC) (ECERI, 2009). A noter que l'huile de paraffine est autorisée en AB, notamment en traitements hivernaux, en vue d'éliminer les stades hivernants des acariens et insectes tels que cochenilles et pucerons sur les branchages des arbres fruitiers.

Par ailleurs, les adjuvants ne sont pas soumis à DJA et ne sont pas tous pris en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition aux résidus de PPP par voie alimentaire (Mesnage et al., 2015). De plus, la composition des produits commerciaux en adjuvants n'est généralement pas connue car protégée par le secret industriel, et peu d'études considèrent le mélange commercial contenant les adjuvants (INSERM, 2021).

Depuis la mise à jour du règlement 2018/848 de l'AB, les adjuvants des PPP sont réglementairement autorisés en AB sans que des règles nationales plus strictes ne soient applicables. Cela concerne :

- ▶ les adjuvants ex-temporanes, i.e. qui sont commercialisés dans un objectif d'optimisation du mélange ;
- ▶ les co-formulants présents dans les préparations commerciales. C'est le cas des synergisants comme le butoxide de pipéronyl (PBO en anglais), dont l'usage avait été interdit en AB en France par l'INAO sur les céréales biologiques. Ce synergisant n'est pas considéré comme une substance active malgré ses effets i) métaboliques sur les insectes, ii) sur le développement embryonnaire en modèle animal et iii) ses effets suspectés sur la santé humaine (Rivera-Gonzalez, 2021). Cette interdiction a été levée au niveau national et européen depuis le 1er janvier 2022 (date de mise en application du règlement 2018/848).

Ainsi, tous les adjuvants agricoles autorisés au niveau européen sont, de fait, autorisés en AB et il n'est plus possible juridiquement pour les Etats membres d'être plus restrictifs sur ce point. Cependant, grâce au travail de l'ITAB et de l'INAO, les opérateurs bio ont désormais accès à des produits formulés sans PBO et peuvent faire le choix d'utiliser ces produits préférentiellement.

Les métabolites

Lorsqu'on cherche à évaluer la toxicité d'un PPP, il est parfois difficile de déterminer si la toxicité de la substance vient de la substance active même, la substance dite « mère », ou des molécules issues de la dégradation de cette substance mère, appelées « métabolites ». En effet, les substances actives émises dans les différents

“compartiments” environnementaux (ex. sols, eaux de surfaces et souterraines, sédiments, organismes vivants) vont se transformer en métabolites en fonction de leurs caractéristiques et des conditions physico-chimiques, ou via le métabolisme des êtres vivants.

La réglementation française encadre la présence des PPP et de ses métabolites dans l'alimentation, de même que dans les ressources en eau (ANSES). En effet, les métabolites sont soumis à DJA tout comme les substances mères. Les métabolites des PPP sont retrouvés dans tous les compartiments environnementaux (ex. dans les eaux de surfaces (Mottes et al., 2017), dans le sol (Silva et al., 2019) mais aussi dans les produits alimentaires (EFSA, 2020 ; EFSA, 2022). Ces métabolites présents dans l'environnement et dans l'alimentation peuvent provenir d'usages anciens de substances actives aujourd'hui interdites mais persistantes dans l'environnement ; c'est le cas notamment des POP – Persistent Organic Pollutant – encadrés par la convention de Stockholm (par exemple, la molécule insecticide DDT et son métabolites DDE (Silva et al., 2019)), d'où la pertinence de considérer la pollution liée aux pratiques agricoles actuelles, mais aussi la pollution dite “héritée” liée aux pratiques anciennes.

D'après l'étude INSERM (2021), certains métabolites ont des effets hépatotoxiques, immunotoxiques, néphrotoxiques ou neurotoxiques. Oturan et al. (2008) pointent que, quand leurs impacts sont connus, les métabolites peuvent avoir des effets toxiques parfois plus importants que ceux de la substance mère (ex. métabolites du diuron). Le DDE (métabolite du DDT) est considérée avec le DDT comme molécule pro-oestrogénique et génotoxique. Des métabolites de PPP de la famille des organophosphorés ou des pyréthrinoides sont retrouvés dans les urines. A noter que la présence de métabolites d'organochlorés notamment est plus élevée chez des patients atteints de maladie d'Alzheimer (INSERM, 2021).

En conclusion, des développements méthodologiques et des besoins de recherches sur le devenir et les effets propres des métabolites sont encore nécessaires (Fantke, 2019), car ils sont rarement étudiés. Or le(s) problème(s) de santé peut(vent) ne pas être issu(s) de la substance mère mais de son ou ses métabolites (INSERM, 2021).

Effets des mélanges et effet cocktail

L'exposition simultanée à plusieurs résidus de PPP peut avoir lieu par différentes voies d'exposition (ex. orale, cutanée, inhalation), et sources d'exposition (ex. air, eau, alimentation). Le mélange de substances peut donc provenir de l'application de plusieurs PPP sur une même culture, ou bien lors d'un repas, de la consommation de plusieurs aliments contenant des résidus (Roth et Wilks, 2018). Différents types d'effets peuvent être observés : effet additif, antagoniste, mais aussi synergies entre les différences substances en mélange. On parle par ailleurs « d'effet cocktail », lorsque le mélange est plus nocif que la somme des effets des substances prises individuellement. Actuellement, la réglementation définit l'usage de chaque PPP, mais ne prend pas en compte les effets de mélange et cocktail dans l'évaluation des PPP. Il existe un besoin important d'acquisition de données et de « modèles intégratifs pour mieux refléter la complexité des expositions », « les analyses sur lesquelles les évaluations se fondent ne prennent pas en compte l'impact des mélanges de PPP » (INSERM, 2021).

Rizzati et al. (2016) montrent des effets neurotoxiques de mélanges d'insecticides et des effets sur la régulation endocrinienne et/ou reproduction de mélanges de fongicides. Lukowicz et al. (2018) démontrent, pour des souris, un effet obésogène et diabétogène sexuellement dimorphique de l'exposition alimentaire chronique à un mélange commun de pesticides à des niveaux de DJA (Dose Journalière Admissible), et fournissent des preuves d'un rôle partiel d'un récepteur dans un modèle de souris in vivo. Ils soulignent que leurs travaux soulèvent la question de la pertinence de la DJA pour les pesticides individuels lorsqu'ils sont présents dans un mélange (cas habituel).

Des travaux de recherche ont également permis d'identifier les principaux mélanges de PPP auxquels la population générale est exposée en France (Crépet et al., 2013a et 2013b) en particulier 25 PPP retrouvés dans 7 mélanges dont 2 contenant des polluants organiques persistants (DDT, Dieldrine), avec 2 mélanges apparus comme cytotoxiques, et 1 ou 2 génotoxique(s).

La difficulté est de prédire l'effet toxique d'un cocktail à partir de l'effet individuel (Crépet et al., 2013a et 2013b). Pour conclure sur les effets mélanges et cocktails, des études complémentaires sont nécessaires pour mieux étudier les interactions entre les PPP ainsi que les risques associés pour la santé humaine.

Les produits phytopharmaceutiques en AB

Parmi les 71 substances approuvées utilisables en bio (UAB) autres que les micro-organismes selon le règlement (UE) 2021/1165 (version en date du 15/11/2023) et approuvées d'après le site EUPD (EU Pesticide Database – consulté le 23/05/2024) :

- ▶ 22 sont des substances de base
- ▶ 9 sont des substances à faible risque
- ▶ 34 sont des substances « standards »
- ▶ 6 sont des substances candidates à la substitution (5 à base de cuivre, la dernière est la lambda-chyhalothrine qui n'est autorisée en bio en tant qu'insecticide uniquement dans des pièges)

Parmi les 32 substances « standards », 27 sont inscrites à l'annexe IV du règlement LMR et 1 a une LMR par défaut de 0,01 mg/kg sur toutes les denrées en application de l'article 18(1)(b). Seuls le spinosad, l'azadirachtine, les pyréthrinés et la deltaméthrine ont des LMR > 0,01 mg/kg.

Le **spinosad** est un insecticide dérivé d'une bactérie naturelle par fermentation autorisé en AB depuis 2008. Dans les produits biologiques, le spinosad était la 3ème substance la plus quantifiée dans les produits végétaux échantillonnés en Europe (EFSA, 2022), en particulier dans les bananes et tomates. Cette substance active aurait des potentiels effets cytotoxiques en particulier sur les cellules pulmonaires (Zhang et al., 2019). Par ailleurs, des effets de perturbation endocrinienne sont également suspectés par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA, 2018), des études complémentaires sont attendues. De récentes études (Denis et al., 2020; Martelli et al., 2022) ont montré que l'exposition chronique sur des insectes non-cibles entraînait des défauts mitochondriaux, une neurodégénérescence grave et la cécité ; des études complémentaires sur les impacts sur la biodiversité sont également nécessaires.

La **deltaméthrine** est un insecticide pyréthrinoïde également autorisé en AB depuis 2008. Il est uniquement autorisé sous forme de piège avec appâts spécifiques, néanmoins la synthèse de l'expertise collective INSERM de 2021 a classé la deltaméthrine, avec un niveau de preuve moyen, comme une substance causant des leucémies chez l'adulte (INSERM 2021). Par ailleurs, les facteurs de caractérisation de la deltaméthrine utilisés en analyse du cycle de vie et en particulier dans la méthode USEtox (Rosenbaum et al. 2008), indiquent des facteurs de caractérisation, donc des potentiels risques sanitaires pour l'Homme, supérieurs à de nombreuses substances homologuées uniquement en agriculture conventionnelle, posant la question de l'innocuité de cette substance et de son utilisation en AB.

Les composés à **base de cuivre** sont issus de la chimie minérale de synthèse et sont homologués en AB (hydroxyde de cuivre, d'oxychlorure de cuivre, d'oxyde cuivreux, de bouillie bordelaise et de sulfate de cuivre tribasique). Une évaluation de l'EFSA en 2018 présente la préoccupation élevée d'impacts pour les oiseaux, mammifères, les micro-organismes du sol, les consommateurs et les travailleurs (EFSA, 2018). En ce qui concerne les consommateurs, dans le cadre des plans multi annuels de contrôle des Etats Membres et ceux coordonnées dans l'Union Européenne, pour l'année 2021, le cuivre a été analysé dans 3647 échantillons avec

un taux de 78 % de quantification et un taux de 1 % de dépassement de LMR (EFSA, 2023). Parmi ces échantillons, 430 échantillons sont bio avec un taux de 79 % de quantification et 0,2 % de dépassement de LMR. Les valeurs quantifiées de cuivre ne sont pas attribuables uniquement à leur utilisation en tant que pesticide dans la mesure où ils sont également présents naturellement dans des additifs. D'après une publication récente de l'EFSA estimant la contribution du cuivre de source alimentaire et non-alimentaire, l'exposition du cuivre du fait de son utilisation en tant que pesticide est négligeable (EFSA, 2023).

Il est important de noter que la toxicologie des SA est régulièrement mise à jour lors de leur réexamen. Par exemple, pour le spinosad, l'EFSA dans ses conclusions de revue par les pairs indiquait que du fait que des études toxicologie montraient des effets adverses sur les organes endocriniens, le potentiel PE devait être évalué. Son évaluation est toujours en cours. Pour les SA à base de cuivre de nouvelles VTR ont été proposées et une révision de l'ensemble des LMRs est en cours.

Les **71 micro-organismes approuvés** sont UAB tant qu'ils ne proviennent pas d'OGM. Les requis réglementaires en ce qui concerne leur toxicité ont récemment évolué et sont progressivement mis en application (Commission Régulation (EU) 2022/1439 & 2022/1440)

En conventionnel, parmi les 294 substances approuvées en usage agricole mais non utilisables en bio (non UAB) approuvées d'après le site EUPD (consulté le 23/05/2024) :

- ▶ 3 sont des substances de base (charbon argileux, chitosan et hydroxyde de magnésium)
- ▶ 63 sont des substances à faible risque
- ▶ 185 sont des substances « standards »
- ▶ 43 sont des substances candidates à la substitution

Si la disponibilité d'un panel large de substances peut être un atout d'un point de vue agronomique (gestion des résistances par exemple), l'exposition simultanée des populations notamment via l'alimentation à des résidus de multiples substances actives peut s'avérer problématique. En effet, les évaluations toxicologie et exposition ci-dessus sont principalement effectuées substance par substance dans le cadre des demandes d'autorisation/ré-autorisation. L'exposition cumulée aux résidus de PPP via l'alimentation ou plus communément appelée 'l'effet cocktail', bien qu'étant un requis réglementaire, n'est pas encore implémentée en routine dans les évaluations. Les récentes études rétrospectives menées par l'EFSA sur différents lots de SA ayant un même effet spécifique n'ont cependant pas fait état de problématiques (EFSA, 2020 ; EFSA, 2021 ; EFSA, 2022).

Comparer le panel des substances UAB et non UAB n'est pas suffisant, il faut tenir compte de leur utilisation en volume. Un indicateur pour estimer l'usage des PPP est leur volume de vente. Les données de la BNV-D (Banque Nationale des Ventes distributeur) sont par exemple disponibles pour la France sur le site du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires³. En se basant sur les données 2019, 2020 et 2021, voici les volumes de ventes de PPP contenant des substances candidates à la substitution :

- ▶ **UAB : 5 183 245 kg** représentés à 96 % pour les produits à base de cuivre
- ▶ **Non UAB : 19 214 867 kg** représentés à 26,8 % par la pendiméthaline, 12,6 % par le propyzamide, 10,3 % par le flufenacet et 10,1 % par l'aclonifen

³ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/etat-des-lieux-des-ventes-et-des-achats-de-produits-phytosanitaires-en-france-en-2021-0>

Il est important de noter que ce ne sont pas des volumes de vente de SA mais de PPP. Il aurait été plus pertinent de présenter les volumes de vente par SA mais il aurait été fastidieux de convertir pour chaque PPP vendu son équivalent en SA en fonction de sa concentration en SA dans le PPP.

Le cuivre est très largement utilisé en agriculture conventionnelle même si d'après le rapport d'appui scientifique et technique de l'ANSES sur la cartographie des utilisations des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre en France (Ballot et al., 2022), en AB, « *la part des surfaces concernées et les doses moyennes apportées (sont) généralement supérieures à celles de l'agriculture conventionnelle pour la plupart des cultures concernées par l'utilisation du cuivre.* ».

Pour conclure, la majeure partie des substances homologuées en AB proviennent d'origine naturelle et ne présentent pas de risque identifié pour la santé, néanmoins certaines présentent un certain nombre d'inquiétudes pour la santé humaine et la biodiversité (Mossa et al., 2018). Ainsi, en particulier le spinosad, la deltaméthrine et les composés à base de cuivre (liste non-exhaustive) doivent faire l'objet d'études scientifiques complémentaires.

I.1.A.2) Caractérisation des expositions aux PPP

Pour les PPP, les utilisateurs professionnels directs (agriculteurs, applicateurs ; techniciens de l'industrie de production phytosanitaire) sont les plus fortement exposés, puis les proches riverains des parcelles agricoles, et enfin les consommateurs (via l'alimentation).

Les différentes voies **d'exposition aux PPP sont cumulables** : par exemple lors de la manipulation et de l'application de PPP ou de semences traitées, ou lors de la réentrée précoce dans une parcelle après traitement. Certains risques professionnels directs pouvant être réduits par le port des EPI – Equipements de Protection Individuelle - appropriés et le respect des bonnes pratiques agricoles (comme le respect des délais de réentrée notamment). Cependant, les substances appliquées ou leurs métabolites finissent dans un ou des compartiments de l'environnement air, eau, sol (Froger et al., 2023) et constituent ainsi une source de contamination indirecte pour les autres usagers et la chaîne alimentaire, et ce pour des temps plus ou moins longs selon la **rémanence des SA** : ainsi, les **pollutions dites « héritées »** correspondent à des PPP qui peuvent avoir été interdits il y a plusieurs décennies.

Il faut également souligner **les interactions et les effets cumulatifs, entre PPP et autres classes de polluants** : ainsi, pour les SA utilisées dans les PPP i) celles utilisées hors agriculture (par exemple des SA interdites en agriculture continuent à être utilisées pour des usages biocides domestiques en antiparasitaire par exemple, comme les produits anti-poux), avec ceux utilisés en agriculture, mais aussi ii) tous les produits polluants utilisés dans les autres secteurs économiques.

Tout au long de la vie, **l'être humain est donc exposé par différentes voies à un ensemble de substances toxiques, incluant les différentes substances composant les PPP avec des expositions qui peuvent être parfois aiguës ou très souvent chroniques. L'exposition généralisée de la population française aux PPP n'est plus à démontrer** (INSERM, 2013 et 2021 ; Baudry et al., 2019a ; Béranger et al., 2020 ; Hardy et al., 2021 ; Nimako et al., 2022).

Par exemple, le glyphosate et son principal métabolite l'AMPA sont retrouvés i) dans la plupart des sols agricoles français et européens, ii) dans la plupart des cours d'eau et nappes aquifères ; et on les trouve aussi iii) dans les urines de 70 % des participants de l'étude française transversale ESTEBAN (891 adultes et 498 enfants, inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016). L'AMPA était le seul métabolite d'herbicides quantifié et ce chez plus de 70 % selon l'étude (SPF, 2020).

Nous passerons en revue les expositions professionnelles, puis d'une catégorie qu'on pourrait qualifier "d'intermédiaire", à savoir les riverains de parcelles agricoles traitées, et enfin les expositions en "population générale". Parmi la population générale, des travaux concernent en particulier le sous-ensemble correspondant au stade de vie intra-utérin (via l'exposition maternelle) et à l'enfance, stades plus particulièrement étudiés, car plus sensibles aux expositions de polluants.

Exposition professionnelle aux PPP

L'exposition aux PPP des professionnels du secteur agricole a été largement étudiée. En effet, de nombreuses connaissances acquises sur les effets des pesticides sur la santé humaine proviennent d'études réalisées sur des populations professionnellement exposées, car les expositions sont souvent plus intenses, plus longues et plus faciles à caractériser que dans la population générale. Dans ce contexte, les agriculteurs ont naturellement été au cœur des recherches ces dernières décennies, et ont notamment été inclus dans de grandes cohortes permettant de suivre leur santé et les liens avec leurs expositions.

Les résultats des études de suivi des travailleurs agricoles (essentiellement conventionnels) en France (AGRICAN) et d'autres pays ont montré des expositions à de nombreuses SA.

Dans le cadre du programme PESTEXPO mis en place en France afin d'évaluer l'exposition aux pesticides des travailleurs sur diverses cultures de plein champ et les vignobles, Lebailly et al. montrent dès 2009 **que les modèles sous-estiment les niveaux d'exposition réels** dans un certain nombre de situations notamment car ils surestiment le niveau de protection apporté par les combinaisons et les gants de protection.

Plus récemment, Bureau et al. (2021) ont intégré la problématique des ré-entrées dans les parcelles et incitent à en tenir compte dans les cohortes agricoles pour les études épidémiologiques sur les effets de l'exposition aux pesticides. Ils indiquent que leurs résultats pourraient également contribuer **à améliorer les modèles d'exposition développés pour le processus d'enregistrement des pesticides**. A cet égard, Huc et Jouzel (2021) soulignent un décalage pouvant exister entre, d'une part, les lignes directrices qui encadrent l'évaluation réglementaire des risques des pesticides et, d'autre part, l'évolution des données issues de la recherche académique sur ce sujet, en s'intéressant aux deux étapes fondamentales de l'évaluation réglementaire des risques pour la santé humaine : l'identification et la mesure des dangers, d'une part, et l'estimation des expositions, d'autre part.

Une étude thaïlandaise (Kongtip et al., 2018) menée chez des agriculteurs conventionnels et biologiques a étudié la relation entre l'utilisation professionnelle de PPP et les niveaux de **biomarqueurs métaboliques et cardiovasculaires**. Après ajustement sur des facteurs de confusion (dont tabagisme, sources d'eau potable...), les agriculteurs conventionnels présentent des valeurs d'indice de masse corporelle, de tour de taille, de pourcentage de graisse corporelle, de triglycérides, de cholestérol total et de lipoprotéines de basse densité sanguins significativement plus élevées que les agriculteurs biologiques. Ainsi, les agriculteurs conventionnels présentent un risque plus élevé de développer des problèmes métaboliques et cardiovasculaire que les agriculteurs en agriculture biologique.

Les agriculteurs en production biologique sont non seulement moins exposés aux PPP (Van Maele-Fabry et al., 2012 ; Costa et al., 2014), mais ils **sont exposés à des substances actives (SA) dont la toxicité est moins élevée**. Ainsi, Burtcher-Schaden et al. (2022) ont montré que 55 % des SA utilisées uniquement dans l'agriculture conventionnelle contenaient des mentions de danger pour la santé ou l'environnement, contre seulement 3 % des SA autorisées pour l'AB. Des avertissements concernant les risques pour l'enfant à naître, la cancérogénicité présumée ou les effets létaux aigus ont été trouvés dans 16 % des SA utilisées dans l'agriculture conventionnelle, mais aucune mise en garde relatif à ces effets n'a été identifiée en AB.

Exposition des riverains aux PPP

Aujourd'hui peu de données sont disponibles en France sur l'exposition réelle des personnes vivant près de cultures.

On peut souligner les travaux issus de la cohorte PELAGIE étudiant l'exposition des enfants aux PPP en Bretagne depuis 2002. En particulier, les métabolites de pyréthrinoides ont été recherchés dans les urines de 245 enfants âgés de 6 ans, et détectés dans 16 à 84 % des urines selon les métabolites. Les enfants vivant à proximité (< 500 m) de champs de légumes ou de céréales ont plus de métabolites dans leurs urines que les autres (Glorennec et al., 2017).

En 2018, la loi Egalim a permis la mise en place de Zones de Non-Traitement (ZNT). Selon la dangerosité des pesticides, une zone sans traitement doit désormais être respectée le long des habitations, des jardins, écoles, etc. Pour les produits les plus dangereux, la distance incompressible est de 20 mètres ; pour les produits intermédiaires, une distance de 10 ou 5 mètres selon que le produit est appliqué sur des cultures hautes ou basses ; pour les produits à faible risque, aucune distance de sécurité n'est requise.

En 2020, Dereumeaux et al., publient la première revue de littérature sur l'exposition aux pesticides chez les riverains. La plupart des études recensées (une trentaine d'articles) ont mis en évidence que **les individus résidant à proximité de zones agricoles ont une exposition aux pesticides plus élevée que celle des groupes contrôle**. Les niveaux d'exposition aux pesticides sont influencés par la distance entre le lieu de résidence et la culture la plus proche, et surtout **par la surface des cultures à proximité du logement**. Toutefois, les résultats ne sont pas toujours constants pour un même pesticide ou pour un même type de mesures de l'exposition.

Coste et al. (2020), observent une association entre la densité viticole et l'incidence des leucémies aiguës avec une augmentation de 3 % de l'incidence pour 10 % d'augmentation de densité de vigne à partir de l'étude du registre national des cancers de l'enfant de 1990-2014 (répertoriant 1487 cas de leucémies aiguës chez les enfants de 0 à 14 ans). Les auteurs n'ont pas mis en évidence d'association avec d'autres types de cultures et soulignent l'importance de poursuivre les études pour vérifier cette observation et la lier éventuellement à l'usage d'un pesticide en particulier. En 2023, cette équipe de recherche (Mancini et al., 2023) confirme un faible surrisque de leucémie aiguës lymphoblastiques chez les enfants habitants dans des zones fortement viticoles.

Le rapport INSERM (2021) indique un lien faible de présomption entre l'exposition des riverains des terres agricoles et la maladie de Parkinson et les troubles du spectre autistique chez l'enfant.

Par ailleurs, le projet PestiRiv, actuellement piloté par Santé publique France et l'Anses, constitue la première étude menée à l'échelle de la France pour explorer l'exposition réelle aux pesticides en zones viticoles de personnes vivant près des cultures, versus en zones non viticoles. Les résultats ne seront connus qu'en 2024.

Projet PestiRiv : il permettra pour la première fois d'évaluer l'exposition aux pesticides des personnes vivant près de vignes et de celles vivant loin de toute culture. L'étude est inédite en termes de sources d'exposition prises en compte (air, alimentation, activité professionnelle et usages domestiques), de diversité des échantillons collectés conjointement (air ambiant, air intérieur, poussières, urines, cheveux, aliments autoproduits) et de maillage territorial, avec 6 régions viticoles couvertes.

Exposition de la population générale aux PPP et à leurs métabolites via l'alimentation

Les seuils utilisés : Limites Maximales de Résidus (LMR) et Limites de Quantification (LOQ - Limit of Quantification)

Les LMR sont les valeurs seuils réglementaires fixées du fait des pratiques agricoles et dont on vérifie à l'aide de modélisations, basées sur l'exposition, qu'elles ne posent pas de risques (ou un risque considéré comme "acceptable" selon le principe ALARA⁴) pour la santé humaine. Le dépassement des LMR entraîne le retrait du produit des circuits de commercialisation et sa destruction. Cependant elles ne permettent pas de comparer facilement des concentrations résiduelles d'exposition puisqu'elles varient en fonction des usages agricoles, des SA et des mises à jour réglementaires.

Le règlement (CE) n°396/2005 et ses mises à jour successives encadrent les LMR au niveau européen. Ces limites sont données en ppm (partie par million ou mg/kg) de résidu sur la matrice agricole brute et par substance active (SA) ou groupe de SA et leurs métabolites. Elles concernent toutes les SA phytosanitaires et, jusqu'à 2018, elles ne prenaient pas en compte l'action de perturbation endocrinienne, malgré la recommandation du HCSP⁵. Le règlement introduit de nouveaux critères pour déterminer les propriétés de perturbation du système endocrinien. Ces critères sont applicables depuis novembre 2018 à toutes les demandes d'approbation (et de réévaluation) des SA. En conséquence, tous les dossiers et rapports d'évaluation (DAR/RAR - Draft Assessment Report) doivent inclure une évaluation des propriétés de la substance en ce qui concerne sa capacité à perturber le système endocrinien⁶.

La LOQ est le seuil analytique en dessous duquel la quantification n'est pas fiable. Cette limite dépend de la méthode utilisée, de la matrice et de la substance analysée. Les analyses avec des résultats supérieurs à la LOQ indiquent la présence de résidus quantifiables, en deçà on parle de traces (non quantifiables).

Le risque de dépassement de LMR lié aux résidus de PPP dans les produits alimentaires est souvent attribuable au non-respect du délai avant récolte autorisé après la dernière application, à l'utilisation de PPP interdits ou pour un usage non couvert, ainsi qu'au non-respect de la dose et de la fréquence d'application autorisées. Les produits dépassant les LMR, au sens réglementaire, ne sont théoriquement pas commercialisables.

Fréquence de quantification des résidus dans les aliments

Les risques liés à l'alimentation sont considérés comme maîtrisés avec les dispositifs de réglementation et de surveillance par le respect des LMR. Cependant, cette réglementation n'empêche pas la présence de résidus de pesticides dans les aliments. En effet, l'agence européenne de sécurité alimentaire (EFSA) suit et évalue les fréquences des résidus de pesticides que l'on peut retrouver sur les aliments en Europe via un programme pluriannuel coordonné dans les états membres (EU MACP - EU Multi-Annual Control Program) et publie un rapport annuel des résultats.

En 2016, 6,4 % des échantillons de produits végétaux français analysés par l'EFSA étaient non conformes, car ne respectant pas la LMR. En 2018, 4,4 % des échantillons analysés dépassaient les LMR - contre 3,1 % pour la moyenne européenne - (Medina-Pastor et Triacchini, 2020) et 3,9 % en 2021. Sur les 91 015 échantillons alimentaires testés en 2018, 47,8 % contenaient un ou plusieurs résidus de PPP dans des concentrations quantifiables (>LOQ).

⁴ As Low As Reasonably Achievable

⁵ Rapport d'évaluation de la seconde stratégie nationale sur les perturbateurs endocriniens

⁶ <https://www.efsa.europa.eu/en/applications/pesticides/faq>

Le rapport annuel 2023 sur le suivi des résidus de pesticides en UE par l'EFSA (EFSA, 2023) indique que 41,9 % des échantillons analysés contenaient au moins 1 résidu quantifiable (Figure 1). Autrement dit, **58,1 % des échantillons analysés étaient exempts de résidus quantifiables**. Sur les trois dernières années, ce taux de quantification varie relativement peu avec 45,8 % en 2019 et 47,2 % en 2020.

Suivi des résidus dans les aliments, issu du programme EU-MACP 2023

n=13845 échantillons

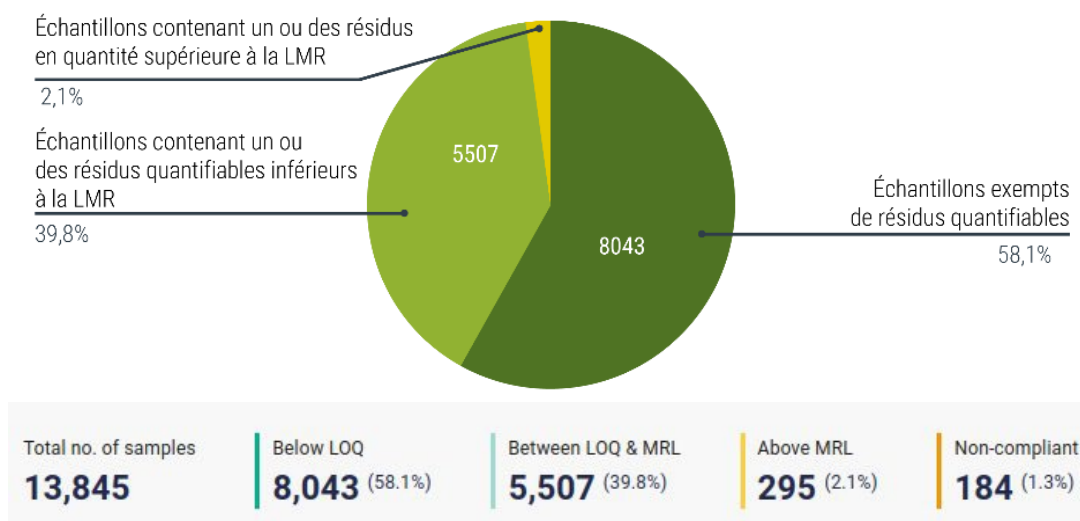


Figure 1 : Suivi des résidus dans les aliments, issu du programme EU-MACP 2023. Below LOQ = Échantillons exempts de résidus quantifiables ; Between LOQ & MRL = Échantillons contenant un ou des résidus quantifiables inférieurs à la LMR ; Above MRL = Échantillons contenant un ou des résidus en quantité supérieure à la LMR.

Les fruits et légumes sont les catégories d'aliments qui contiennent le plus souvent des résidus de pesticides. En 2021, selon les résultats du MACP, les pamplemousses, le raisin de table et les bananes ont été les aliments présentant les plus forts taux de quantification mais également ceux ayant le plus souvent de multiples résidus (Figure 2).

Pourcentage d'échantillons contenant des résidus quantifiables par aliment

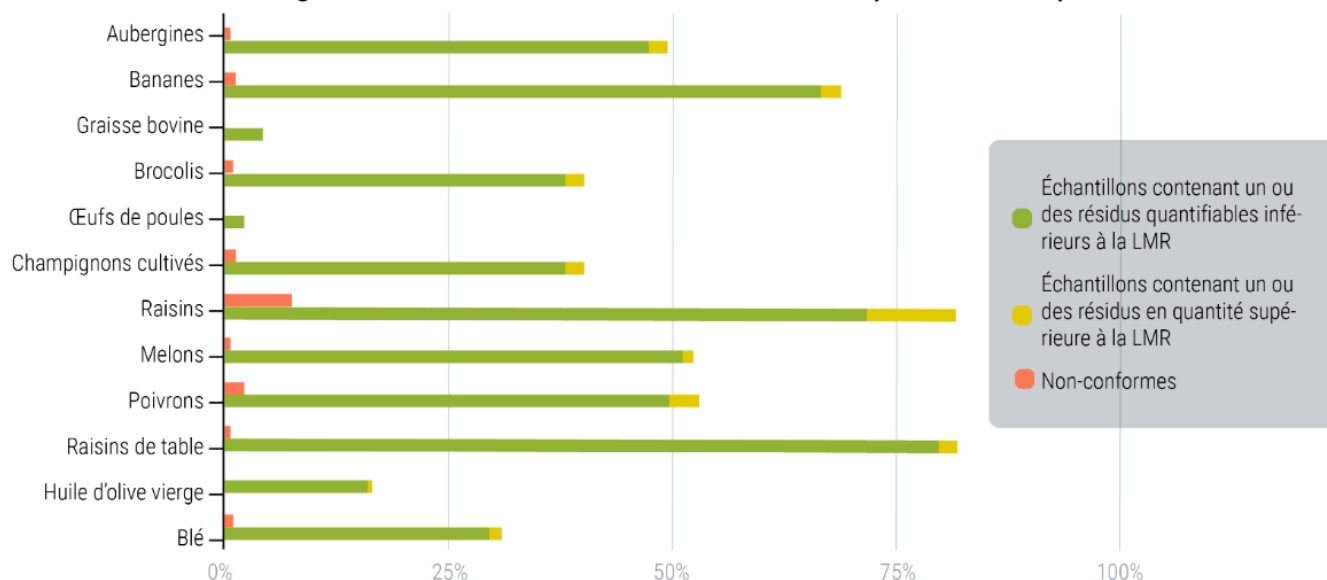


Figure 2 : Pourcentage d'échantillons de fruits et légumes contenant des résidus quantifiables

En 2021, les pesticides quantifiés dans plus de 100 échantillons et dont la fréquence de quantification dépasse 10 % sont les suivants :

- ▶ Les composés à base de cuivre* (78,3 %)
- ▶ Le mercure* (20,4 %),
- ▶ Les ions bromure* (20,2 %)
- ▶ Le Fosétyl-Aluminium (17,2 %)
- ▶ Les chlorates (12,0 %)
- ▶ La chlordécone (11,2 %),
- ▶ Les dithiocarbamates* (10,8 %)
- ▶ L'oxyde d'éthylène (10,2 % ; 6,6 % de dépassement de LMR.

Les substances avec une astérisque * correspondent à des substances que l'on peut retrouver naturellement ou qui sont présentes dans l'environnement (cas des Polluants Organiques Persistants). Leur présence n'est donc pas obligatoirement liée à une utilisation agricole, intentionnelle ou non.

En outre, il n'est pas rare de retrouver plusieurs résidus de SA différentes. Ainsi, sur les données 2018, 29% des échantillons analysés présentaient plus d'un résidu de pesticide (EFSA, 2020). En 2023, 27% des produits analysés contenaient plusieurs résidus.

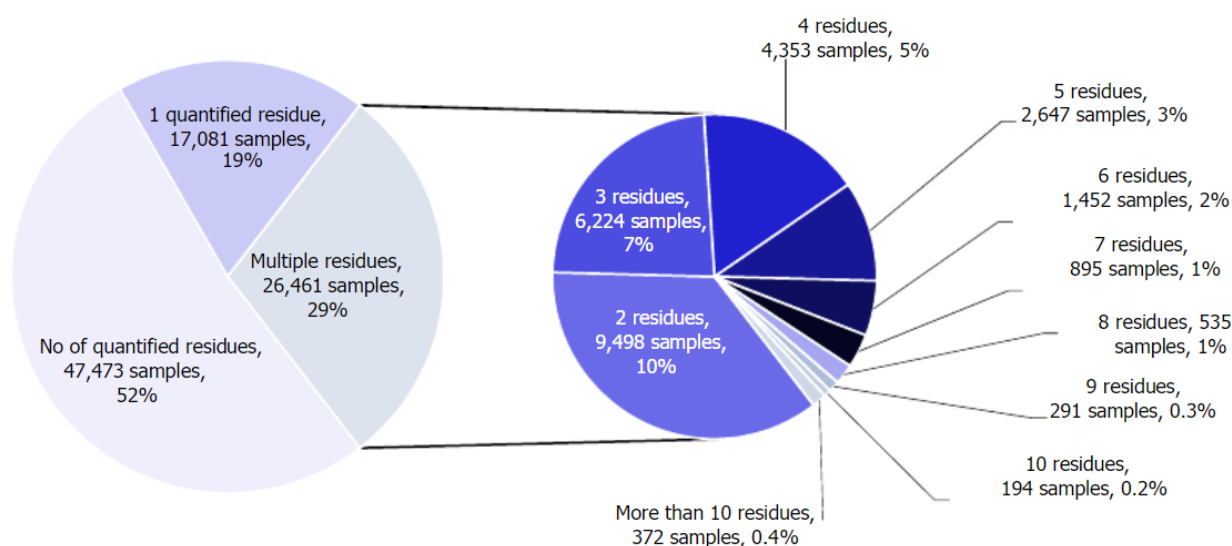


Figure 3 : Pourcentage d'échantillons contenant des résidus quantifiés et nombre de résidus retrouvés dans les fruits et légumes échantillonnés en Europe en 2018 (EFSA, 2020).

Multiple residues in unprocessed food products

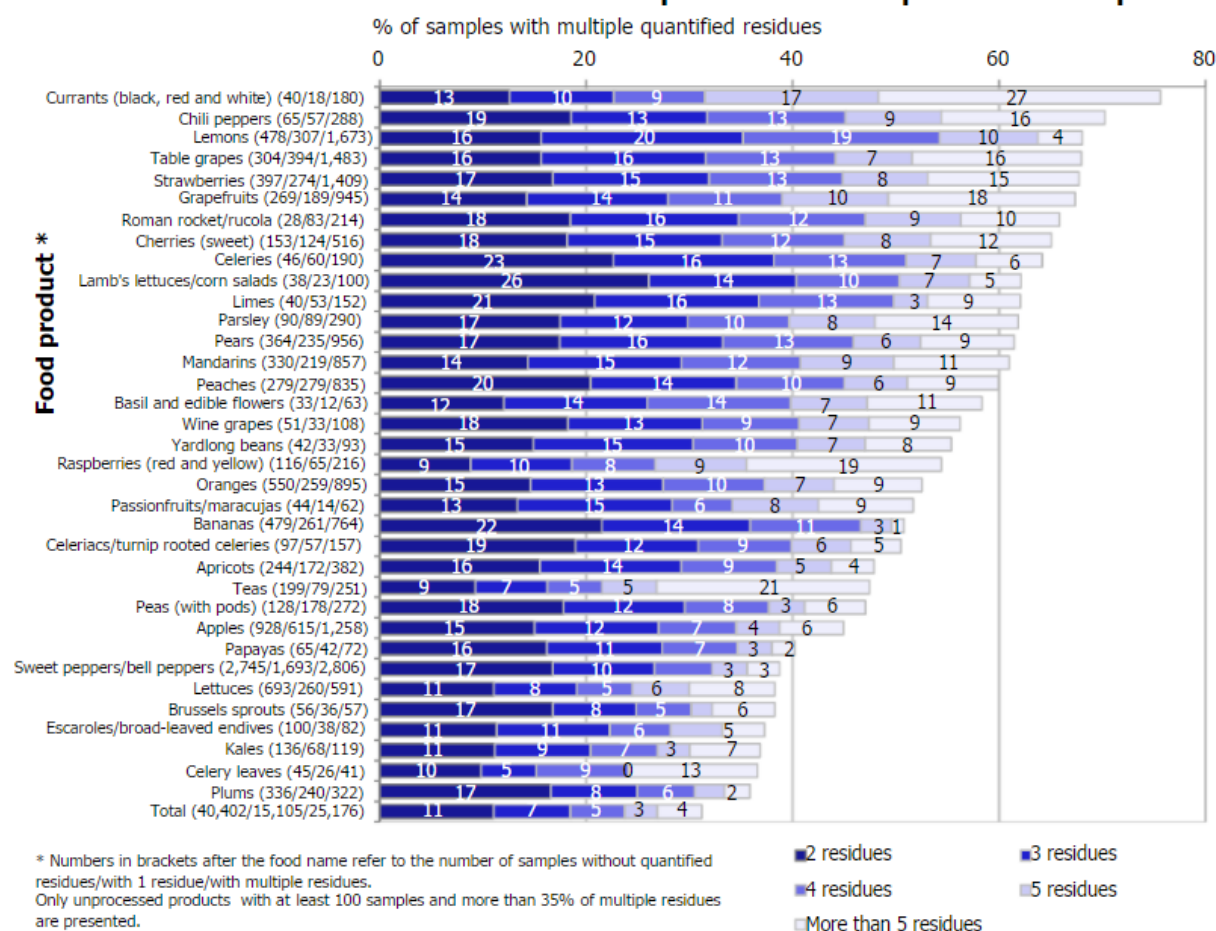


Figure 4 : **Produits alimentaires non transformés contenant le plus fréquemment des résidus.** Les derniers résultats publiés de la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes) concernant les résidus de pesticides dans les denrées végétales datent de 2019 (sur les données de 2017) et font état des résultats suivants : sur 4958 échantillons, 2511 analyses se sont révélées positives pour **au moins un résidu soit une fréquence de quantification de 50 %** ; 181 ont été déclarés non conformes soit 3,6 %.

Fréquence de quantification des résidus dans les aliments biologiques

L'utilisation de pesticides synthétiques est proscrite en AB, cependant on peut retrouver des traces de ces pesticides dans les produits biologiques. En effet, ces résidus peuvent provenir soit d'un usage frauduleux, soit d'une contamination environnementale non intentionnelle (Schleiffer et Speiser, 2022).

En AB, 18,4 % des échantillons de 2020 contenaient au moins 1 résidu quantifiable (EFSA, 2022), et 17,2 % en 2021 (EFSA, 2023). Autrement dit **82,8 % des produits bio analysés en 2021 dans le cadre du programme de contrôle multi annuel européen (MACP) ne contenait aucun résidu quantifiable** (Figure 5).

Ces taux de quantification sont relativement stables sur les trois dernières années d'analyse variant de 80,1 % en 2020 à 86,9 % en 2019.

Suivi des résidus dans les aliments biologiques, issu du programme EU-MACP 2023 n=6530 échantillons

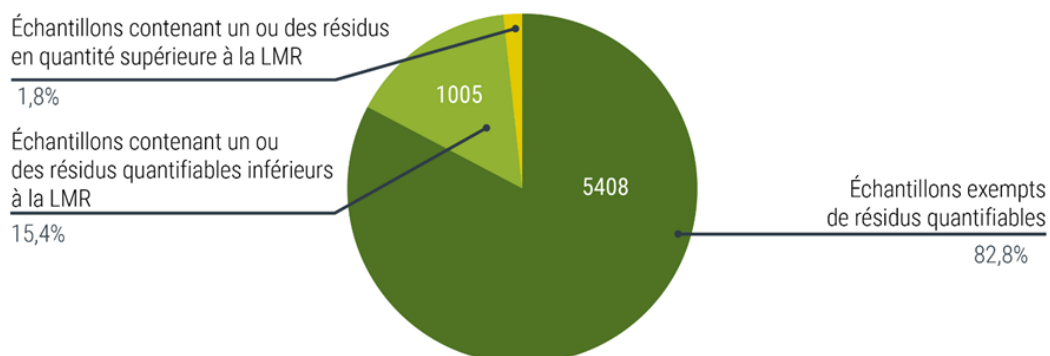


Figure 5 : Suivi des résidus dans les aliments biologiques, issu du programme EU-MACP 2023.

En AB sur les données 2021, les SA les plus fréquemment détectés au-dessus de la limite de quantification, mais en dessous de la LMR, sont les composés de cuivre (79 %), les ions bromure (15 %), le chlorate (7 %), le fosétyl (6,5 %), le mercure (5,9 %) et les dithiocarbamates (5,6 %). La substance dont la fréquence de dépassement de la LMR est la plus élevée est l'oxyde d'éthylène (6,4 %) (EFSA, 2023). Cette SA n'étant pas autorisée en UE, sa LMR par défaut est fixée au seuil de quantification. Ce produit de synthèse, désinfectant, est utilisé hors UE pour prévenir des contaminations bactériologiques des matières premières, et n'avait quasiment pas été recherché avant 2021. Depuis la « crise de l'oxyde d'éthylène » ayant entraîné de nombreux retraits et rappels de produits alimentaires, il a été activement recherché et quantifié au vu de son profil toxicologique CMR⁷.

La plupart des substances quantifiées dans les produits certifiés bio proviennent de produits autorisés en AB (composés à base de cuivre), ou présents naturellement dans l'environnement (ions bromure), ou sont issus des produits de dégradation des produits de désinfection (chlorate), ou sont des contaminants persistants, issus d'une contamination héritée (e.g. DDT), ou encore sont liées à des fraudes ou mésusages (e.g. usages de substances interdites en UE comme l'oxyde d'éthylène).

Néanmoins les fréquences de quantification des résidus dans les produits biologiques sont très largement inférieures à ce que l'on peut retrouver dans les aliments non certifiés.

Si les fréquences de quantification sont des données relativement accessibles et utilisées pour communiquer sur les résultats de résidus de pesticide, les informations concernant les concentrations retrouvées sont difficiles à collecter. En Allemagne, le Comté du Baden-Wurtemberg fait faire un suivi des résidus quantifiés par le laboratoire de référence national de Stuttgart (CVUAS - Chemical and Veterinary Analysis Agency Stuttgart) depuis de nombreuses années. En 2022, 423 échantillons de produits végétaux bio ont été analysés. La concentration moyenne de résidus dans les fruits biologiques était de 0.005 mg/kg et de 0.003 mg/kg dans les légumes cultivés en AB. En comparaison, ils relèvent des **concentrations 100 fois supérieures sur les fruits et légumes conventionnels.**

⁷ <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.000.773>

Fruits	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Échantillons produits bio	0.002	0.001	0.002	0.004	0.003	0.004	0.002	0.005
Échantillons produits conventionnels (à l'exception des produits de traitement du sol ou des conservateurs, de l'acide phosphorique et des ions bromure)	0.35	0.43	0.45	0.40	0.45	0.44	0.48	0.38
Légumes	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Échantillons produits bio	0.002	0.003	0.003	0.008	0.002	0.004	0.002	0.003
Échantillons produits conventionnels (à l'exception de l'acide phosphoreux et des ions bromure)	0.49	0.46	0.36	0.46	0.41	0.29	0.40	0.46

Tableau 2 : Comparaison des concentrations moyennes de résidus de PPP par échantillon de produits frais (en mg/kg) dans les fruits et légumes biologiques versus conventionnels (Source Baden Wurtemberg organic pesticide report 2021⁸).

Des consommateurs bio moins exposés aux PPP

De nombreuses études ont montré que les **consommateurs de produits biologiques étaient significativement moins exposés aux PPP de synthèse** (Lu et al., 2006 ; Smith-Spangler et al., 2012 ; Barański et al., 2014, 2017 ; Oates et al., 2014 ; Curl et al., 2015, 2019 ; Bradman et al., 2015 ; Papadopoulou et al., 2019 ; Baudry et al., 2019a, 2019b et 2021 ; Vigar et al., ; Fagan et al., 2020 ; Rebouillat et al., 2021 & 2022 ; Rempelos et al., 2021) notamment en relevant des **concentrations dans les urines et le sang significativement plus faibles ou en évaluant l'exposition par les aliments via des tables de contamination**. Ainsi, Rempelos et al. (2021), comme précédemment Oates et al (2014), ont montré que la consommation d'aliments biologiques réduisait **l'excrétion urinaire totale de résidus de PPP de synthèse de plus de 90 %**, en montrant que les sources environnementales représentaient moins de 10 % de l'exposition totale aux PPP (alimentaire et environnementale).

Une étude contrôlée de 40 jours avec des régimes à base d'aliments biologiques ou conventionnels sur 129 enfants scolarisés a permis, avec les outils de métabolomique, de montrer une diminution significative de l'exposition aux pesticides (pyréthrinoides, néonicotinoides) après un régime à base d'aliments biologiques (Makris et al., 2019).

Cependant, à noter qu'un volet spécifique sur le cuivre du programme national de Biosurveillance (ESTEBAN, 2021) a montré que l'imprégnation en cuivre est augmentée chez les enfants ayant une consommation plus fréquente de légumes bio. Les concentrations urinaires en cuivre sont augmentées de 8 % chez ceux consommant plus de 4 fois par semaine des légumes bio par rapport à ceux n'en consommant jamais ou rarement.

NutriNet-Santé : L'étude NutriNet-Santé est une étude de cohorte prospective d'observation (cohorte ouverte) suivant une large population depuis 2009 visant à étudier la relation entre la nutrition et la santé à long terme. Elle permet de collecter de nombreuses données afin d'analyser les liens entre l'alimentation et l'apparition de maladies chroniques telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, certains cancers, etc. L'objectif est de mieux comprendre les facteurs de risque et de proposer des recommandations en matière de nutrition pour

⁸ https://www.ua-bw.de/pub/beitrag_printversion.asp?ID=3632

prévenir ces maladies. L'étude Nutrinet-Santé est une référence en matière de recherche épidémiologique dans le domaine de la nutrition.

A noter : la cohorte NutriNet-Santé est composée de volontaires (presque 178 000 nutrinautes inscrits depuis le lancement), de niveau d'éducation moyen sensiblement plus élevé que dans la population générale, qui peuvent être davantage intéressés par leur santé et leurs apports alimentaires que la population française en général : cela implique une certaine prudence lors d'une potentielle extrapolation, et généralisation des résultats à d'autres populations.

Dans l'étude de cohorte NutriNet-Santé, l'exposition alimentaire à 25 résidus de PPP dans plusieurs groupes ayant des régimes alimentaires différents (omnivores, pesco-végétariens, végétariens et végétaliens) en considérant le mode de production (biologique ou conventionnel) des aliments à base de plantes a été étudiée (Baudry et al., 2021). L'exposition aux résidus de PPP a été estimée sur la base des données observées et à l'aide de deux scénarios simulés pour des régimes 100 % conventionnels et 100 % biologiques chez 33 018 omnivores, 555 pesco-végétariens, 501 végétariens et 368 végétaliens. Le scénario 100 % conventionnel a conduit à une forte augmentation de l'exposition aux résidus de PPP. **Le scénario 100 % bio conduit à une forte diminution de l'exposition aux résidus de pesticides, sauf pour les pesticides autorisés en agriculture biologique.**

Les résultats ont également montré que les niveaux d'exposition variaient entre les groupes de régimes alimentaires en fonction du PPP étudié. L'exposition la plus élevée a été observée pour l'imazalil dans tous les groupes.

A noter que malgré leur forte consommation de produits d'origine végétale, les consommateurs végétariens étaient moins exposés aux PPP de synthèse que les omnivores, en raison de leur plus grande propension à consommer bio.

En résumé : les produits biologiques présentent des fréquences de quantification en résidus de PPP inférieures aux produits conventionnels (17,2 % vs 41,9 % -EFSA, 2023-).

En outre, les concentrations retrouvées semblent, malgré le peu de données disponibles, très largement inférieures en bio par rapport au conventionnel (le CVUAS cite un facteur 100 sur les fruits et légumes).

Ces valeurs (taux de quantification et concentration) entraînent une exposition des consommateurs différente : les mangeurs bio sont moins exposés aux résidus de PPP.

I.1.A.3) Impacts de l'exposition aux PPP : liens avec des pathologies

Après avoir quantifié des expositions différenciées, il s'agit d'identifier si ces expositions sont susceptibles de conduire à des effets sanitaires contrastés, en mobilisant l'épidémiologie.

L'épidémiologie est réalisée par enquête et englobe 3 types d'études : descriptives, étiologiques et évaluatives. Il est également possible de caractériser ces types d'enquêtes par le schéma expérimental. Ainsi, on distingue les études d'intervention, les enquêtes transversales et les études prospectives ou rétrospectives (voir focus "études épidémiologiques et niveaux de preuve" ci-après).

A noter qu'il est difficile d'établir des liens clairs de causalités entre expositions et pathologies, en raison de la multi-exposition à des substances plus ou moins toxiques, qui peuvent interagir entre elles (effet cocktail de synergie ou d'antagonisme) et du caractère multifactoriel des maladies -des facteurs génétiques peuvent également exister- (INSERM, 2021).

Focus : études épidémiologiques et niveaux de preuve

Les études étiologiques qui nous intéressent ici ont pour objectif de rechercher les causes et les facteurs de risques des maladies. Ces approches reposent sur des études cas-témoins ou sur des études de cohorte. Selon la temporalité entre la mesure de l'exposition et l'identification des maladies, on distingue les études prospectives ou rétrospectives. Le niveau de preuve des études prospectives est considéré supérieur à celui des études rétrospectives car elles sont exemptes de biais d'anamnèse (les malades relatent l'exposition différemment des non-malades).

Ces différents types d'étude conduisent à des niveaux de preuve différents, les études prospectives de cohorte représentant le schéma d'étude avec le niveau de preuve le plus élevé. Il existe aussi, avec un niveau de preuve encore plus élevé, les essais randomisés contrôlés ayant pour objectif de comparer un groupe spécifique à un groupe contrôle (voir figure ci-contre).

A noter que si les essais randomisés contrôlés sont largement mis en œuvre en clinique et en thérapeutique pour identifier par exemple la supériorité d'un traitement, ces études sont difficilement réalisables lorsqu'il s'agit d'évaluer les associations relatives au comportement alimentaire.



Représentation schématique des types d'enquêtes et du niveau de preuve

Populations professionnelles et émergences de pathologies

Une vaste cohorte américaine **Agricultural Health Study** -AHS- (plus de 89 000 agriculteurs et de leurs conjoints suivis depuis 1993) a permis de pointer, que, malgré un taux de cancer inférieur à la population générale, dans l'Iowa et en Caroline du nord, les agriculteurs développent plus fréquemment des cancers des lèvres, de la thyroïde, de la prostate et des myélomes multiples.

Dans la suite d'AHS, la cohorte AGRICAN, mise en place en France en 2005, a permis de suivre l'état de santé de 180 000 agriculteurs comparés à la population générale et a identifié des surrisques de certains cancers spécifiquement pour la population agricole, et a identifié les métiers les plus exposés et les pratiques à éviter.

Cohorte AGRICAN : L'étude AGRICAN a été mise en place depuis fin 2005, comprenant plus de 180 000 affiliés de la Mutualité Sociale Agricole répartis sur 11 départements français métropolitains, afin de répondre à la question du lien entre les expositions professionnelles agricoles et le risque de survenue de cancers. Elle permet également d'étudier d'autres maladies chroniques telles que certaines maladies neurodégénératives (maladies de Parkinson, d'Alzheimer...) et respiratoires (asthme, bronchite chronique...).

Un consortium de **cohortes agricoles AGRICOH** a été créé en 2010 à l'initiative notamment des pilotes de l'AHS et comprend maintenant 29 cohortes de 15 pays répartis sur les 5 continents. Ce consortium a permis d'étudier plus de 2 800 000 personnes par an associées à des enregistrements de 23 188 cancers. L'analyse de ces 8

cohortes agricoles (France (AGRICAN : n = 128 101), USA (AHS: n = 51 165, MESA: n = 2 177), Norvège (CNAP: n = 43 834), Australie (2 cohortes combinées, Australian Pesticide Exposed Workers: n = 12 215 and Victorian Grain Farmers: n = 919), République de Corée (KMCC: n = 8 432), et Danemark (SUS: n = 1 899) par Togawa et al., 2021 sur les liens avec les enregistrements des cancers donnent les résultats suivants:

- ▶ Des augmentations de risques ont été observées pour les mélanomes cutanés et les myélomes multiples chez la femme et le cancer de la prostate chez l'homme, par rapport à la population générale
- ▶ A contrario, une moindre incidence de certains cancers a été observé dans la population agricole sur le cancer de la vessie, du sein chez la femme, colorectal, de l'œsophage, du larynx, des poumons et du pancréas et de tous les cancers confondus.

Ces résultats suggèrent que les agriculteurs ont un risque global de cancer inférieur au reste de la population mais un risque plus élevé pour certaines formes (cancer de la prostate pour l'homme ; myélome multiple et mélanome cutané pour les femmes).

Ces nombreux résultats issus notamment de ces études de longue durée de ces cohortes, ont été synthétisés dans le cadre de la vaste revue de littérature INSERM 2021 (Inserm. Pesticides et effets sur la santé : Nouvelles données) actualisant le rapport INSERM 2013, à partir d'une **analyse de la bibliographie comprenant plus de 5 300 documents.**

Focus sur l'expertise collective INSERM 2021 « Pesticides et santé » : professionnels agricoles

La méthodologie pour déterminer la présomption de lien est adaptée des travaux de Wigle et coll. (2008) et d'un rapport de l'Académie nationale de médecine des Etats-Unis publié en 2000.

- Présomption forte du lien (++) : existence d'une méta-analyse de bonne qualité montrant une association statistiquement significative ou plusieurs études de bonne qualité et d'équipes différentes montrant une association statistiquement significative.
- Présomption modérée du lien (+) : existence d'au moins une étude de bonne qualité qui montre une association statistiquement significative.
- Présomption faible d'un lien (±) : études de qualité insuffisante ou incohérentes entre elles ou n'ayant pas la puissance statistique suffisante permettant de conclure à l'existence d'une association.

Les présomptions faibles de lien n'ont pas été retenues ci-dessous.

Exposition des adultes aux PPP en milieu professionnel

- 13 présomptions fortes d'un lien entre l'exposition aux pesticides et six pathologies : lymphomes non hodgkiniens (LNH) (5), maladie de Parkinson (4), myélome multiple (1), cancer de la prostate (1), troubles cognitifs (1), bronchopneumopathie chronique obstructive (BCPO) et bronchite chronique (1).

Pathologies associées à l'exposition des professionnels agricoles (présomptions de lien fortes)



Pour les LNH, il a été possible de préciser les liens avec des substances actives spécifiques (lindane et son isomère γ -HCH, DDT, malathion, diazinon) et avec une famille chimique (organophosphorés -dont font partie le diazinon et le malathion), et pour la maladie de Parkinson et les troubles cognitifs avec les insecticides organochlorés et les organophosphorés, respectivement.

- 49 présomptions modérées pour certains cancers (leucémies (16), prostate (9), LNH (8), sarcomes des tissus mous (1), système nerveux central (1), myélomes multiples (1)), les **pathologies thyroïdiennes (5)**, les **troubles anxio-dépressifs (2)**, l'**asthme** et les sifflements respiratoires (2), altération des fonctions respiratoires (1), la maladie de Parkinson (2), et la maladie d'Alzheimer (1).

Concernant le **glyphosate** : existence d'un **risque accru de LNH** avec une présomption **modérée** de lien. D'autres surrisques sont évoqués pour le myélome multiple et les leucémies avec présomption faible.

Plus précisément, le lien entre pesticides et **lymphomes non-hodgkiniens (LNH)** concerne particulièrement les producteurs de pommes de terre (+70 % de risque par rapport à la population générale). La désinfection des locaux (+70 % de risque) et l'utilisation des insecticides sur les animaux (+50 %) auraient un effet comparable chez les éleveurs ovins et caprins.

Dans le cas des leucémies lymphoïdes, également considérées comme maladies professionnelles, l'augmentation de risque pour les utilisateurs de pesticides s'élève à 50 %. Les viticulteurs seraient particulièrement exposés (+70 % de risque), de même que les maïsiculteurs. Les données suggèrent une **augmentation de risque de 40 % de maladie de Parkinson** en lien avec l'utilisation de zinèbe et de zirame, deux fongicides dont le premier est aujourd'hui interdit en Europe.

Il faut souligner que les présomptions fortes de liens entre l'exposition aux PPP et les deux pathologies Parkinson et Lymphome malin Non Hodgkinien (LNH), ont permis la reconnaissance par la MSA (Mutualité Sociale Agricole) de ces pathologies comme **maladies professionnelles directement liées à l'exposition aux pesticides** (INRS, Régime agricole). Plus récemment, par décret du 22 décembre 2021, un nouveau tableau de maladie professionnelle relatif au **cancer de la prostate** en lien avec l'exposition aux pesticides a été créé au régime agricole, sur la base de ces derniers avis scientifiques (avis de l'ANSES et expertise collective de l'INSERM, 2021).

De nouveaux liens sont encore identifiés depuis la parution du rapport INSERM 2021.

Ainsi, par exemple, Nassar (2023) a montré une augmentation du risque de cancer du rein pour des expositions à des pesticides de la famille des SDHI pour "succinate déhydrogénase inhibitor" (fenfuram, carboxine, oxycarboxine) et à des strobilurines (azoxystrobine, krésoxim méthyl, famoxadone), chez les hommes de la cohorte AGRICAN.

D'autres travaux récents (Renier, 2022 puis Renier et al., 2024) ont permis d'identifier 262 cas incidents de cancer de l'ovaire dans AGRICAN, et indiquent un risque plus élevé de cancer de l'ovaire chez les femmes impliquées dans l'élevage porcin, chez les arboricultrices et les femmes faisant du traitement de semences. Certaines des associations positives observées suggèrent qu'une certaine exposition aux pesticides (en particulier pendant la puberté) pourrait jouer un rôle dans le développement du cancer de l'ovaire. A contrario, l'activité agricole au début de la vie pourrait avoir un effet protecteur, comme cela a été observé pour le cancer du poumon chez les agriculteurs.

Pour le cancer du sein (n=1 800), les risques étaient différents selon le statut ménopausique des femmes agricultrices, et selon le type d'activités agricoles. Chez les femmes avant ménopause, le risque était augmenté pour les éleveuses de bovin, de volaille et pour les viticultrices. Chez les femmes après ménopause, les risques étaient diminués chez les éleveuses de bovins, les cultivatrices de prairies, maïs, et blé, et les risques étaient augmentés chez les éleveuses de volaille, les viticultrices, les cultivatrices de betteraves, tournesol, légumes plein champs et serres. Les auteurs n'ont pas trouvé d'association entre l'exposition directe ou indirecte pour les analyses préliminaires effectuées entre le cancer du sein et les insecticides pyréthroïdes. Globalement, ces résultats trouvés pour le cancer du sein et le cancer de l'ovaire montrent l'importance de poursuivre les recherches sur les femmes dans le domaine agricole.

Au-delà des effets chroniques synthétisés par la vaste étude bibliographique INSERM 2021, il nous semble également important de pointer les **externalités sanitaires dites « délocalisées » liées aux PPP**. En effet, une enquête menée en 2017 par la Direction Générale « Santé et Sécurité Alimentaire » de la Commission Européenne indiquait que la majorité des substances actives contenues dans les pesticides vendus en Europe

est aujourd'hui fabriquée en dehors de l'UE⁹. Par conséquent, au-delà des études de suivis de cohortes d'agriculteurs, il faudrait pouvoir mesurer les effets sur la santé des producteurs de matières actives dans des pays tiers. On a bien entendu en tête l'accident de Bhopal en 1984. A noter qu'un récent article étudie **les effets délétères, encore 30 ans plus tard**, sur des personnes qui étaient alors des fœtus : cette étude révèle des taux plus élevés de cancer, des taux plus élevés d'invalidité empêchant l'emploi, ainsi que des niveaux d'éducation plus faibles (Mc Gord et al., 2022). Ainsi ce sont des effets liés à la pollution massive avec des coûts sociaux exorbitants générés sur du temps long.

Exposition des riverains des parcelles agricoles et impact sur leur santé

Le rapport INSERM (2021) indique que le lien de présomption entre l'exposition des riverains des terres agricoles et la **maladie de Parkinson** est faible ; comme le lien entre la proximité résidentielle à des zones d'épandages de pesticides (rayon <1,5 km) et le comportement évocateur des **troubles du spectre autistique** chez l'enfant.

Une étude menée en Californie confirme ce dernier lien (von Erhenstein, 2019). En effet, les résultats indiquent une augmentation du risque pour l'enfant de développer des troubles du spectre autistique selon l'exposition prénatale de la mère aux pesticides (résidence de la mère dans un rayon de 2000 mètres d'une zone d'application de pesticide vs résidence non exposée). Le risque de développer ces troubles a été associé à l'exposition au glyphosate, chlorpyrifos, diazinon, malathion, avermectine, et perméthrine. En outre, l'exposition précoce (dans la première année de vie) augmente jusqu'à 50 % le risque de trouble associé à une déficience intellectuelle comorbide pour certaines de ces substances.

Plus récemment, à partir de plus de 3 700 cas diagnostiqués et géolocalisés entre 2006 et 2013, et comparés à un groupe témoin de plus de 40 000 enfants, les chercheurs ont analysé le risque de développer une leucémie en fonction de la présence de vignes autour du lieu de résidence. La simple présence de vigne à proximité du lieu d'habitation (<1 km) ne ressort pas comme étant un facteur de risque. En revanche, la **densité en vignes** dans ce même périmètre est corrélée au risque de développer une leucémie aigüe de type lymphoblastique chez l'enfant (Mancini et al., 2023).

Par ailleurs, des chercheurs américains (Skidmore et al., 2023) ont mis en évidence un lien entre le développement de la culture du soja et l'augmentation de la mortalité par cancer pédiatrique dans certaines régions brésiliennes. L'étude compare sur les quinze dernières années des données géospatiales d'assolement et de mortalité infantile dans les régions du Cerrado et de l'Amazonie, où les surfaces de soja ont respectivement été multipliées par 3 et 20. Concrètement, une augmentation de 10 points du pourcentage de soja dans une commune est associée à une augmentation de 0,40 mort sur 10 000 enfants de moins de 5 ans (0,21 pour les enfants de moins de 10 ans), soit l'équivalent de 123 morts sur l'ensemble des régions étudiées et sur la période 2008-2019. Le lien grimpe à 2,7 morts/10 000 en aval des bassins versants concernés, et devient nul en amont, ce qui laisse penser à une contamination par la consommation d'eau. Aucun lien statistique n'a été établi avec d'autres cultures réputées « moins intensives en pesticides ».

Exposition prénatale et dans l'enfance aux PPP et pathologies

L'exposition pendant la grossesse ou l'enfance aux PPP a également été étudiée et de nombreux liens entre expositions et pathologies ont pu être mis en évidence, comme documenté dans les expertises collectives INSERM 2013 et 2021, et grâce notamment à des études comme l'étude PÉLAGIE.

⁹ European Commission; Directorate-General for Health and Food Safety. Controls on the Marketing and Use of Plant Protection Products: Overview Report, 2017

Étude PÉLAGIE (Perturbateurs Endocriniens : Étude Longitudinale sur les Anomalies de la Grossesse, l'Infertilité et l'Enfance) : L'étude Pélagie est une étude longitudinale qui vise à examiner les effets des perturbateurs endocriniens sur la grossesse, l'infertilité et l'enfance. Elle se concentre sur les anomalies qui pourraient être causées par ces substances chimiques présentes dans l'environnement et qui peuvent interférer avec le système hormonal. Il s'agit d'un suivi d'environ 3500 mères-enfants réalisé en Bretagne depuis 2002. L'étude recueille des données auprès de femmes enceintes, d'enfants et de couples infertiles sur une période prolongée afin d'évaluer les risques potentiels pour la santé reproductive.

Les résultats de cette étude indiquent une présomption forte de lien entre l'exposition aux PPP de la mère pendant la grossesse ou chez l'enfant et le **risque de certains cancers, en particulier les leucémies et les tumeurs du système nerveux central** ; que ça soit par exposition professionnelle ou environnementale (c.-à-d. en population générale). Certains liens directs avec des familles chimiques ont pu être établis, notamment avec les insecticides organophosphorés et les pyréthrénoïdes (également en usage domestique à l'intérieur des habitations) ; mais aussi entre les organophosphorés et l'**altération des capacités motrices, cognitives et sensorielles** ; les pyréthrénoïdes et les troubles du comportement.

Par ailleurs, il y a une présomption modérée de lien entre l'exposition aux PPP de la mère pendant la grossesse et les atteintes observées chez l'enfant dont expositions aux organophosphorés sans distinction et comportement évocateur des troubles du spectre autistique ; chlorpyrifos, malathion, méthyl-parathion, propoxur et altération des capacités motrices et cognitives ; chlordécone et altération de la motricité fine ; mais aussi sans distinction des PPP et malformations congénitales.

D'autres travaux issus de la cohorte PELAGIE indiquent la survenue d'**otite moyenne** au cours des 2 premières années de vie chez les enfants dont la fréquence serait associée à l'**exposition prénatale aux PPP dans l'alimentation** selon Buscail et al. (2015).

On peut également citer des résultats issus de la cohorte MoBa :

- ▶ Suspensions de liens entre l'exposition prénatale à des PPP et des pathologies chez l'enfant à naître, comme le risque d'hypospadias (malformation congénitale) (Christensen et al., 2013 ; Brantsæter et al., 2016) ;
- ▶ Pour la femme enceinte, le risque de pré-éclampsie (2ème cause de décès maternels et responsable d'un tiers des naissances de grands prématurés en France) est suspecté d'augmenter avec l'exposition aux PPP de synthèse (Torjusén et al., 2014).

Étude de cohorte MoBa : L'étude de cohorte MoBa (ou "Norwegian Mother and Child Cohort Study") est une enquête épidémiologique norvégienne visant à comprendre l'impact des facteurs environnementaux et génétiques sur la santé des femmes enceintes et de leurs enfants. Elle a débuté en 1999 et a recruté plus de 100 000 femmes enceintes pour suivre leur grossesse et la santé de leurs enfants jusqu'à l'âge adulte. Les chercheurs étudient l'association entre les facteurs de risque et les maladies chroniques, l'autisme, les troubles du développement et l'obésité.

Focus sur l'expertise collective INSERM 2021 « Pesticides et santé » : femmes enceintes et enfants

Exposition aux PPP de la mère pendant la grossesse (exposition professionnelle ou par utilisation domestique) ou chez l'enfant :

- 5 Présomptions fortes de liens entre l'exposition aux pesticides de la mère pendant la grossesse, ou pendant l'enfance et les pathologies chez l'enfant : Leucémies (2), Malformations congénitales (1) Tumeurs cérébrales (1), Tumeur du système nerveux central (1).
- Présomption forte de liens entre l'exposition aux pesticides et les troubles du développement neuropsychologique et moteur de l'enfant notamment les insecticides organophosphorés et les pyréthrinoides.
- 2 Présomptions modérées concernant des leucémies lymphoblastiques chez l'enfant (1) et la mort fœtale (1).

De manière générale, les enfants constituent une population plus à risque concernant les pollutions chimiques par les PPP (Garvey, 2019).

A cet égard, il est à noter que depuis 2023, le CHU d'Amiens a mise en place **une consultation « pesticides et pathologies pédiatriques »** pour les enfants atteints de leucémies, tumeurs cérébrales, hypospadias et/ou fentes labio-palatines. Cette consultation vise à **accompagner les familles, et faire reconnaître l'exposition professionnelle** d'un parent ou des deux parents aux pesticides. En effets, la cellule médicale estime que l'exposition professionnelle d'un parent sur la période pré-natale pourrait être associée à un risque accru chez l'enfant de ces maladies et pourrait ainsi être indemnisé par le fonds d'indemnisation des victimes de pesticides. Créé en 2020 par l'article 70 de la loi de financement de la Sécurité Sociale, le fonds garantit la réparation forfaitaire des dommages subis lors d'une exposition professionnelle. Comme mentionné sur son site : *« L'exposition aux pesticides fait aujourd'hui partie des causes reconnues de certaines maladies professionnelles prises en charge dans le cadre des régimes de sécurité sociale des accidents du travail et maladies professionnelles (AT-MP). C'est essentiellement dans le cadre du régime agricole des AT-MP que les victimes professionnelles sont indemnisées. »*

Exposition alimentaire aux résidus des PPP et surrisques d'émergence de pathologies

Au cours de la dernière décennie, de nombreuses études ont porté sur les liens entre alimentation biologique et santé humaine. Le type d'étude épidémiologique réalisée est soit une étude prospective de cohorte, une étude cas-témoin ou une étude transversale.

Il existe différentes façons de caractériser une alimentation biologique. L'une d'elle consiste à segmenter la population en différents groupes en fonction de la fréquence de consommation d'aliments biologiques. De cette façon, il est possible de comparer les régimes alimentaires des différents groupes (structure des régimes selon l'équilibre produits végétaux / produits animaux ou produits bruts / produits transformés) mais également de comparer l'exposition de ces groupes à des substances pouvant entraîner un impact sur la santé (résidus de pesticides par ex.).

De nombreuses études scientifiques internationales ont démontré **les risques sanitaires associés à l'exposition aux résidus de PPP dans l'alimentation, même à faible dose** (Boobis et al., 2011 ; Hernández et al., 2013 ; Rizzati et al., 2016 ; Lukowicz et al., 2018). Les liens entre l'exposition alimentaire aux PPP et l'état de la santé humaine ont été analysés à des niveaux inférieurs aux LMR. Fantke et Jolliet (2016) ont identifié l'exposition alimentaire aux résidus de PPP présents dans les produits végétaux comme étant la voie

d'exposition dominante pour la population générale. Le risque d'ingestion de résidus de PPP est accru pour les fruits et légumes couramment consommés sous forme fraîche (Weinberger et Lumpkin, 2007).

Population générale (INSERM 2021) « Pesticides et santé » : population générale

La présomption forte d'un lien entre l'exposition au chlordécone de la population générale et le risque de survenue de cancer de la prostate a été confirmée. En considérant l'ensemble des données épidémiologiques et toxicologiques disponibles, la **causalité de la relation est jugée vraisemblable.**

L'expertise ne s'est pas concentrée sur l'exposition via l'alimentation, et mentionne que les risques semblent maîtrisés selon l'état des connaissances. Notons que les études françaises sur l'exposition des consommateurs d'aliments bio et leurs moindres risques de pathologies dans le cadre de la cohorte NutriNet-Santé (Kesse-Guyot et al, 2022) n'ont pas été prises en compte dans le rapport INSERM 2021.

La grande cohorte française (170 000 inscrits), NutriNet-Santé, a permis de nombreuses analyses d'exposition non professionnelle, générant un grand nombre de publications internationales (Rebouillat et al., 2021 & 2022 ; Baudry et al., 2021). Cette vaste cohorte a permis de montrer, chez l'adulte, que certaines pathologies sont suspectées d'être liées à l'exposition aux PPP :

- ▶ Sur le risque de cancer en général, l'une des principales hypothèses de l'association négative entre la fréquence d'aliments biologiques et le risque de cancer est l'interdiction des PPP de synthèse en AB, entraînant une fréquence plus faible ou l'absence de contamination des aliments AB par les PPP de synthèse par rapport aux aliments conventionnels (Baudry et al., 2018a).
- ▶ Sur le risque de cancer du sein en postménopause, l'étude de Rebouillat et al. (2021) indique un rôle potentiel de l'exposition alimentaire aux PPP de synthèse, en particulier l'exposition au chlorpyrifos, à l'imazalil, au malathion, et au thiabendazole, spécifiquement chez les femmes en surpoids et obèses.
- ▶ Sur le risque de diabète de type 2, des premiers résultats suggèrent un rôle de l'exposition alimentaire aux PPP de synthèse, en particulier lié à l'exposition à l'azoxystrobine, chlorpyrifos, imazalil, malathion, profenofos, thiabendazole (Rebouillat et al., 2022).

D'autres études ont porté sur l'exposition alimentaire aux PPP par l'ingestion de fruits et légumes (les aliments les plus contaminés), en particulier par une équipe de chercheurs américains de Harvard basé sur 3 études prospectives de cohorte : Nurses' Health Study (NHS, à partir de 1976), NHS-II (expansion de la cohorte à partir de 1986), et Health Professionals Follow-up Study (HPFS).

Le suivi de ces 3 cohortes américaines d'adultes (n= 137 300 femmes suivies pendant 20 ans et 23 500 hommes suivis pendant 22 ans) a permis, entre autres, d'étudier les liens entre leur alimentation - comprenant des F&L peu contaminés en PPP vs très contaminés- et les risques de développer des pathologies, dont cancers.

A noter que les auteurs mentionnent qu'ils ne peuvent différencier si les F&L sont bio/non bio : ils ont pu approximer le niveau faible versus élevé de résidus de PPP, qui est une forme de proxy pour bio/non bio.

Etude NHS : la Nurses' Health Study, ou « étude sur la santé des infirmières », est une série d'études épidémiologiques de type prospective de cohorte menées aux Etats-Unis, qui examinent les effets à long terme de la nutrition, des hormones, de l'environnement et de la vie professionnelle des infirmières sur la santé et le

développement des maladies. La première étude, débutée en 1976, portait initialement sur l'utilisation de contraceptifs, le tabagisme, le cancer et les maladies cardiovasculaires. Réalisée tous les 2 ans auprès d'infirmières, l'étude s'est élargie à des questions nutritionnelles.

Etude Health Professionals Follow-up Study : l'Étude de suivi des professionnels de la santé (HPFS) a débuté en 1986. Le but de l'étude est d'évaluer une série d'hypothèses sur la santé des hommes reliant les facteurs nutritionnels à l'incidence de maladies graves, telles que le cancer, les maladies cardiaques et d'autres maladies vasculaires. Cette étude entièrement masculine est conçue pour compléter l'étude sur la santé des infirmières, qui examine des hypothèses similaires.

En 2019, l'étude de ces cohortes américaines par (Chiu et al., 2019) indique qu'une consommation plus importante de fruits et légumes à faible teneur en résidus de PPP était associée à un risque plus faible de maladies coronariennes, tandis que la consommation de fruits et légumes à forte teneur en résidus de PPP n'était pas liée au risque. Ainsi les résultats suggèrent **que l'exposition aux résidus de PPP par la consommation de fruits et légumes peut modifier certains avantages cardiovasculaires de la consommation de fruits et légumes.**

Quant à eux, Sandoval-Insausti et al. (2021) montrent que ni la consommation de fruits et légumes à forte ni à faible teneur en résidus de PPP n'a été associée au risque global de cancer, les auteurs n'excluant pas des associations avec des PPP spécifiques ou des sous-types de cancers spécifiques.

Cette même équipe de chercheurs Sandoval-Insausti et al. (2022) a étudié ensuite en particulier l'association entre la consommation de fruits et légumes selon leurs résidus de PPP et la mortalité totale et par cause : les apports en fruits et légumes à fortes teneurs en résidus de PPP ne sont pas liés à la mortalité toutes causes confondues, **alors que l'apport en fruits et légumes à faible teneur en résidus de PPP est inversement lié à la mortalité toutes causes confondues**, ce qui suggère que l'exposition aux résidus de PPP par l'alimentation pourrait annuler l'effet bénéfique de l'apport en fruits et légumes sur la mortalité. Il est intéressant de noter que la consommation d'aliments à faible teneur en résidus de pesticides est inversement liée à la mortalité due à des causes autres que les maladies cardiovasculaires. En revanche, la mortalité due aux maladies neurologiques n'est pas liée à l'ingestion d'une dose à faible ou à forte teneur en résidus de pesticides.

Finalement, l'équipe de Sandoval-Insausti et al. (2022), met en balance les effets liés i) à une alimentation riche en fruits et légumes favorable par rapport à divers risques de pathologies, et ii) les effets liés à l'exposition aux résidus de PPP par l'alimentation impactant négativement la santé humaine, et pointe les résultats suivants (par analyses multivariées) :

- ▶ Consommer 4 portions journalières ou plus de fruits et légumes avec peu de résidus de PPP versus moins d'une portion journalière réduit de 36 % le risque global de mortalité,
- ▶ Consommer 4 portions quotidiennes ou plus de fruits et légumes avec une teneur élevée de résidus de PPP vs moins d'une portion quotidienne réduit le risque de mortalité, mais de façon non significative (- 7 %)
- ▶ Les résultats sont observés pour 3 principales causes de décès : maladies cardio-vasculaires (- 30 %), cancers (-19 %), maladies respiratoires (-38 %).

Selon les auteurs, l'exposition forte aux PPP par les fruits et légumes annulerait finalement une grande partie de l'effet bénéfique de la consommation de ces aliments sur la réduction de la mortalité humaine et ses principales causes.

Pour conclure, les résidus de PPP de synthèse dans l'alimentation sont ainsi largement suspectés d'être associés à différentes pathologies ; l'AB réduisant l'exposition alimentaire, une alimentation biologique devrait permettre de réduire le risque sanitaire associé à l'exposition alimentaire aux PPP de synthèse.

En résumé : les risques sanitaires associés aux produits phytopharmaceutiques (PPP)

Les risques globaux sur la santé humaine associés à l'exposition aux PPP ne sont plus à démontrer lors d'expositions professionnelles. Un grand nombre d'articles scientifiques ont conduit à établir des présomptions fortes et moyennes de liens. A cet égard, de nouvelles maladies sont désormais reconnues comme maladies professionnelles. Les agriculteurs en bio sont non seulement moins exposés que les agriculteurs en conventionnel, mais ils sont exposés à des substances actives moins nocives pour la santé.

L'usage limité des PPP en AB permet de réduire significativement l'exposition aux PPP des travailleurs agricoles mais aussi des consommateurs.

Des résidus de PPP sont quantifiables dans 42 % des échantillons de produits alimentaires analysés au niveau Européen (EFSA, 2023) tandis que moins de 18 % des échantillons bio en contiennent. En outre les concentrations retrouvées sont largement inférieures en bio.

Par ailleurs, les grands consommateurs d'aliments bio présentent une plus forte végétalisation de l'alimentation. Les végétaux étant de loin les aliments les plus contaminés par les PPP, privilégier les aliments végétaux bio permet de réduire notablement l'exposition aux PPP de synthèse, comme recommandé par le PNNS-4 (Programme National Nutrition de 2019-2023).

Des études complémentaires sont nécessaires pour préciser les risques en particulier : i) de nombreuses substances actives ne sont pas ou peu étudiées et pourraient présenter des risques sanitaires, et ce même pour certaines substances utilisables en AB ii) les effets sanitaires associés aux métabolites, aux adjuvants, mais aussi liés à l'exposition multiple via les effets cocktails sont mal connus. Il existe donc un besoin d'acquisition de données et de modèles intégratifs pour mieux refléter la complexité des expositions.

Enfin, des externalités liées à la fabrication des PPP de synthèse, délocalisée dans des pays pauvres, sont souvent invisibilisées, peu étudiées.

I.1.B. Expositions liées à la fertilisation azotée et phosphatée, et la question des métaux lourds

La **fertilisation azotée** génère des impacts sur les écosystèmes et la santé humaine comme résumé dans la Tableau 7 (de Vries, 2021).

A noter qu'en ce qui concerne l'usage des engrais azotés, les formes azotées sont multiples, et le cycle de l'azote est complexe, avec de nombreuses réactions d'oxydation (nitrification) et de réduction (dénitrification) engendrant des effets sanitaires spécifiques.

Les incidences sur la santé humaine sont dues à l'augmentation des concentrations de dioxyde d'azote (NO₂), d'ozone (O₃) induit par les oxydes d'azote (NO_x), et de particules générées par l'azote (de Vries, 2021). Ces particules secondaires, PM10 et PM2.5 (pour « Particulate Matter » ou matière particulaire de 10 µm et 2.5 µm), sont issues des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et d'ammoniac (NH₃). Pozzer et al. (2017) ont également montré qu'une réduction de 50 % des émissions agricoles permettrait de réduire de 19 % les concentrations moyennes annuelles de PM2,5 et la mortalité liée à la pollution par les PM en Europe.

Les effets de l'ammoniac (NH₃) sur la santé sont également connus, en particulier pour l'exposition aiguë localement dans les élevages, avec des effets irritants, et sont aussi incriminés dans l'apparition de certaines maladies telles que l'asthme et les bronchites chroniques (Portejoie et al., 2002).

Quant aux nitrates (NO_3^-), l'exposition a lieu par voie alimentaire (voir focus nitrites/nitrates) et l'eau de boisson. Leur toxicité est due à leur transformation en nitrites classés cancérogènes probables par le CIRC (groupe 2A), avec des risques de cancer colorectal, cancer du sein, de maladies de la thyroïde et des anomalies du tube neuronal (Ward et al., 2018 ; de Vries, 2021, Chazelas, 2022, ANSES, 2022, Srouf et al., 2023)). Le risque lié à la présence de nitrate dans l'eau de consommation est considéré comme majeur, même en-dessous des niveaux réglementaires (Ward et al., 2018).

Il est difficile de déterminer précisément la spécificité de l'AB dans ces pollutions azotées, néanmoins quelques éléments bibliographiques permettent d'indiquer que l'AB **contribue dans une moindre mesure à ces pollutions à échelle équivalente** (entre 26 % et 50 % selon les études, voir le chapitre sol pour davantage de précisions).

Impacts	Qualité de l'air					Qualité du sol	Qualité de l'eau	
	Polluants primaires		Polluants secondaires		Gaz à Effet de serre	Solution du sol	Eau souterraine	Eau de surface
	NH_3	NO_x	O_3	PM	N_2O	NO_3^- , NH_4^+ , pH, AI	NO_3^- , AI	N total, NH_4^+ , pH, AI
Écosystèmes terrestres	x	x	x			x		
Écosystèmes aquatiques	(x)	(x)						x
Santé humaine	x	x	x	x	(x)		x	(x)

Tableau 3 : Effet des principales formes d'azote dans l'environnement sur la qualité de l'air, du sol et de l'eau, et à travers ces milieux, sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, et la santé humaine. Les PM sont les particules fines (PM) comprenant NH_4^+ (Ammonium) et NO_3^- (Nitrate). NO_x (Oxydes d'azote) est le mélange de NO et NO_2 . (Source : de Vries 2021).

La **fertilisation phosphatée minérale** quant à elle a pour conséquence la contamination des sols, de l'eau, de l'air et de la chaîne alimentaire en éléments phosphatés mais aussi en éléments traces dangereux tels que le **cadmium, le plomb, l'arsenic, l'uranium, le chrome et le mercure qui sont présents dans les roches phosphatées** (voir également le chapitre sol).

Aujourd'hui, seuls 3 métaux lourds bénéficient d'une LMR : le cadmium, le plomb et le mercure. Ces éléments se retrouvent disséminés dans les sols, et prélevés par les plantes, les animaux et l'Homme (Dissanayake et Chandrajith, 2009).

Le cadmium, classé cancérogène (groupe 1) par le CIRC (IARC, 1993 et 2012), est également mutagène et toxique pour la reproduction. Il a notamment des impacts sur le système respiratoire, les reins, le système reproductif et le système squelettique (Godt et al., 2006 ; Roberts, 2014).

A noter que l'exposition au cadmium de la population générale est proche, et, dans certains cas, même supérieure à la dose dite tolérable. L'ANSES a pu établir que le risque toxicologique ne peut être écarté pour 15 % des enfants et < 1 % des adultes. Cette exposition de la population française a été mesurée par l'étude transversale Esteban entre 2014 et 2016 : en moyenne, les Français ont un taux de **0,57 microgrammes de cadmium/gramme de créatinine** (Santé Publique France, 2021). L'ANSES retient que 0.5 microgrammes de cadmium/gramme de créatinine est un maximum à ne pas dépasser : 47 % des Français dépassent ce seuil. Une sur-imprégnation de la population française a été observée par rapport à nos voisins européens (0.23 pour les Belges, 0.18 pour les Allemands) ou aux Américains (0.19).

L'exposition au cadmium par voie alimentaire se fait essentiellement par le pain et les produits de panification sèche (22 % de l'exposition pour les adultes, 13 % pour les enfants), et les pommes de terre (12 %, et 14 % respectivement) (ANSES, 2011).

Il convient donc de réduire l'exposition au cadmium. Dans cet objectif, depuis 2022, l'Union Européenne a ainsi interdit les engrais inorganiques dont la teneur en cadmium est supérieure à 60 mg/kg (Directive 86/278/CEE), avec l'objectif de passer progressivement à 20 mg/kg en 16 ans (seuil déjà appliqué en Finlande, Hongrie et Slovaquie), suivant les recommandations de l'ANSES (2021).

L'excès de cadmium dans les sols a été identifié comme étant directement lié à la fertilisation phosphatée minérale (EFSA, 2009 ; Roberts, 2014 ; Grant, 2015). Les sols français sont plus impactés que d'autres pays de l'UE par le problème de l'accumulation du cadmium du fait i) d'un recours à des engrais phosphatés plus concentrés en cadmium que les sources d'engrais phosphatés des autres pays européens (dû à leur origine géographique, la France se fournissant très majoritairement au Maroc), et ii) des apports excessifs par les pratiques nationales (Steckerman, 2018). Une variabilité entre les concentrations retrouvées dans le sol et celles retrouvées dans les aliments est observée ; elle est liée aux caractéristiques du sol (texture, pH, taux de matière organique) et au métabolisme spécifique et variétal des végétaux (voir Chapitre sol).

Dans les céréales biologiques, une plus faible teneur en cadmium est retrouvée par Barański et al. (2014). Mie et al. (2017) discutent le fait que la méta-analyse de Smith-Spangler et al. (2012) ne retrouve pas cette moindre teneur en cadmium en AB, mais concluent sur le fait qu'il est plausible que la teneur en cadmium des cultures biologiques soit inférieure, du fait i) de teneurs moindres dans les engrais utilisés en AB, et ii) du fait que les terres agricoles conduites en bio ont potentiellement une teneur plus élevée en matière organique du sol. Or une teneur plus élevée diminue généralement la disponibilité du cadmium pour les cultures.

L'étude de Baudry et al. (2019b) ne trouve aucune différence significative de la concentration plasmatique en cadmium sur des individus ayant une consommation importante en produits végétaux bio ou conventionnels.

En résumé : les risques sanitaires liés à la fertilisation

Les impacts de la fertilisation azotée sur les écosystèmes et la santé humaine sont connus. Il semblerait que l'AB contribue dans une moindre mesure aux pollutions liées à l'azote, cependant il est difficile de déterminer précisément la spécificité de l'AB/AC en termes d'impacts santé sur ce volet.

Parmi les métaux lourds que l'on peut retrouver dans l'environnement, le cadmium est directement lié à la fertilisation phosphatée minérale.

En bio, la teneur des produits est abaissée d'environ 30 % pour le cadmium. Le cadmium étant un cancérogène du groupe 1, la teneur plus faible en cadmium des végétaux bio reportée par Baranski et al. (2014) pourrait être intéressante pour la santé humaine, au vu des dernières données disponibles concluant à la sur-imprégnation des Français au cadmium (Santé Publique France, 2021), notamment pour les céréales et pommes de terre qui contribuent fortement à l'exposition au cadmium par voie alimentaire. On ne peut toutefois pas aujourd'hui conclure quant à l'impact sur la santé humaine de cette teneur moindre en cadmium des produits végétaux bio. Des travaux complémentaires seraient nécessaires pour quantifier de façon plus précise la moindre exposition aux fertilisants phosphatés et azotés en AB, afin de mieux estimer les impacts sanitaires liés aux excédents d'azote et phosphore dans les écosystèmes.

I.1.C. Les produits vétérinaires

Les produits vétérinaires utilisés en élevage sont de deux différents types principaux, les antiparasitaires et les antibiotiques. Cette partie traite principalement des antibiotiques. Leur usage en santé animale contribue à sélectionner des souches bactériennes résistantes dont les gènes de résistances peuvent être transmis à des bactéries pathogènes pour l'homme (WHO, 2001) via le contact avec les animaux, par l'environnement ou via l'alimentation. Cela pose un problème de santé publique majeur, l'élevage contribuant significativement à l'antibiorésistance (Palma et al., 2020).

L'utilisation massive d'antibiotiques dans l'élevage, notamment l'élevage hors-sol (avec en trio de tête les tétracyclines, les pénicillines et le sulfamide) (Sautereau et al., 2016), renforce la sélection de souches résistantes. Des liens entre antibiorésistance chez l'Homme et usage des antibiotiques en élevage sont établis. Or l'élevage en Europe consomme 61 % des antibiotiques (à noter que ce chiffre est en régression), des niveaux de consommation pratiquement identiques à la consommation humaine quand elle ramenée à la biomasse des animaux (Nunan, 2022).

En France, l'antibiorésistance est la cause de plus de 5 500 décès par an chez des patients atteints d'infections à bactéries résistantes et près de 125 000 patients développent une infection liée à une bactérie résistante. En Europe (Espace économique européen et Union européenne) plus de 33 000 décès annuels sont liés à ces bactéries (Cassini et al., 2019), près de 1,3 millions par an dans le monde (Murray et al., 2022).

En France, le 3ème plan Écoantibio (2023-2028) vise à prolonger la dynamique des précédents plans afin de limiter l'émergence et la diffusion de résistances aux antibiotiques chez les animaux et les risques qui y sont associés. En raison de l'importance croissante de cette problématique en santé animale (et aussi humaine), le plan Écoantibio 3 s'ouvre pour la première fois aux résistances aux autres antimicrobiens et aux antiparasitaires.

Depuis 2020, l'EFSA et l'ECDC (European Center for Disease Control) publient un rapport scientifique annuel sur l'antibiorésistance afin de l'évaluer dans les bactéries liées aux productions animales et pathogènes humaines. En voici un extrait sur les données collectées sur E. coli sur poulet de chair en France en 2020 (Figure 6) :



Figure 6 : Niveaux de résistances *E. Coli* face à différents antibiotiques chez les poulets de chair en France (EFSA, 2023).

Ces utilisations d'antibiotiques en élevage entraînent différents risques pour la santé animale et humaine : (i) le développement de l'antibiorésistance des bactéries d'origine animale avec le risque d'impasse thérapeutique et le transfert de résistances entre les bactéries affectant les animaux et celles pathogènes pour l'homme ; (ii) la présence de résidus d'antibiotiques dans les viandes et le lait (Welsh et al., 2019), la substance elle-même et ses métabolites, avec l'élaboration de LMR et de délai avant abattage et traite, et enfin (iii) le rejet d'antibiotiques dans l'environnement (eaux et sols). Néanmoins ces risques sont peu quantifiés, et non distingués entre usage vétérinaire ou humain (Chardon et Brugere, 2014). En France, l'étude Burden-BMR conduite par Santé Publique France a estimé l'impact de la multi-résistante bactérienne en 2012 à environ 158 000 infections humaines et 12 000 décès (Santé Publique France et al., 2016). En 2019, dans le monde, on estimait à 1,27 million les décès dus à l'antibiorésistance ; ainsi, la **résistance aux antibiotiques est un problème majeur de santé humaine** qui serait au moins aussi important que celui de maladies majeures comme le VIH et le paludisme (Murray et al., 2022). Tang et al. (2017) ont montré que la réduction de l'usage des antibiotiques dans les populations d'animaux d'élevage est probablement une stratégie bénéfique pour les animaux et les êtres humains, bien que l'ensemble des mécanismes de transmission inter-espèces des bactéries résistantes et de leurs éléments génétiques ne soient pas entièrement compris.

Par sa réglementation, l'agriculture biologique contribue **à une moindre utilisation d'antibiotiques et donc génère de moindres risques d'antibiorésistance**. En effet, l'utilisation de médicaments vétérinaires allopathiques chimiques ou d'antibiotiques à des fins de traitement préventif est interdite. Des pratiques d'élevages limitant l'apparition de maladies et la mise en place de mesures prophylactiques préventives est la règle prioritaire en élevage bio (voir encadré).

Focus

En bio, les antibiotiques possibles mais limités

La prévention passe par une action sur le milieu extérieur (sol, logement notamment), en respectant les délais de vide sanitaire, une litière propre et saine ou encore un pâturage tournant sur les parcelles en tenant compte de la succession des générations.

En AB, le règlement de base (2018) prévoit un usage possible des antibiotiques seulement à des fins thérapeutiques, après prescription par un vétérinaire si les traitements naturels ne sont pas efficaces.

Si plus de 3 traitements antibiotiques ou traitements allopathiques de synthèse sont administrés au cours d'une année (ou plus d'un traitement si le cycle de vie productif des animaux est inférieur à un an), les animaux concernés et leur production ne peuvent pas être vendus en bio, et ces animaux seront soumis aux périodes de conversion. Par ailleurs, tous les délais d'attente en vigueur dans la réglementation générale sont doublés en bio. Le recours aux antibiotiques doit être une solution de dernier recours, et toujours à titre curatif seulement.

Il semble que la moindre densité, l'âge de sevrage plus avancé, l'utilisation de litières, les aliments plus fibreux et l'accès à l'extérieur qui induit des modifications du microbiote des animaux, contribuent à réduire le besoin en antibiotiques des élevages bio (Nunan, 2022).

Comme rappelé dans le précédent rapport sur les externalités de l'agriculture biologique (Sautereau et Benoit, 2016), de façon générale, les éleveurs conventionnels utilisent plus d'antibiotiques que les éleveurs biologiques. En bovin, l'agriculture conventionnelle française utilise en moyenne 3,5 fois plus d'antibiotiques pour l'élevage des bovins laitiers et allaitants que les élevages bio (Pavie et al., 2013). Pour les poulets en France, 94 % des lots de poulets bio sont élevés sans aucun traitement antibiotique (Experton et al., 2018) à mettre en regard des 33 mg/kg d'antibiotiques ramenés au poids vif en 2020 pour les volailles conventionnelles (voire 64 mg/kg si ramené au poids de l'animal au moment du traitement, les traitements ayant surtout lieu au cours des premières semaines de vie) (Nunan, 2022).

Ailleurs en Europe, la tendance est similaire, Mie et al. (2017) rapportent qu'au Danemark et aux Pays-Bas, l'utilisation d'antibiotiques chez les vaches laitières était respectivement 50 % et 300 % plus élevée dans les systèmes conventionnels que dans les systèmes biologiques. Le secteur porcin bio utilise jusqu'à 15 fois moins d'antibiotiques avant sevrage que l'élevage intensif au Danemark (Nunan, 2022).

Aux Etats-Unis, où l'USDA interdit les antibiotiques tout au long de la vie des volailles bio, des effets bénéfiques ont été démontrés dès la première bande de poulets élevée en bio pour réduire l'antibiorésistance des bactéries présentes dans les litières et dans les aliments (Sapkota et al., 2011).

Les pratiques réalisées en élevage biologique sont associées à une plus faible prévalence de souches résistances aux antibiotiques (Smith-Spangler et al., 2012 ; Gomiero, 2018). Par exemple, Österberg et al. (2016) identifient une prévalence significativement plus faible de la bactérie E. coli dans les élevages de porcs bio dans 4 pays d'Europe.

Cependant, sachant qu'une grande partie des bactéries pathogènes des aliments sont liées à des bactéries d'origine fécale, l'épandage plus courant des produits résiduels organiques (PRO) en AB pourrait aboutir à plus d'aliments bio plus contaminés.

La comparaison de la prévalence des micro-organismes pathogènes dans les produits bio par rapport aux produits non-bio, n'est pas conclusive, l'effet du bio pouvant être positif, négatif ou neutre selon les bactéries et les produits considérés d'après une revue récente. Cependant, **les taux d'antibiorésistance sont presque systématiquement moindres en AB par rapport à l'AC**, spécialement en ce qui concerne les souches multi-résistantes (Rodriguez et al., 2023). La revue de Rodriguez (2023) incluant la bibliographie scientifique et les alertes RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) de la communauté européenne confirme les résultats précédents : « concernant la résistance aux antibiotiques, la tendance notable est une **moindre présence des souches multi-résistantes dans les produits biologiques comparés aux conventionnels** ».

TABLE 1: Comparison of the presence of bacteria and antibiotic resistance genes between conventional and organic foodstuffs.

Product category	Organic/bio product	Bacteria	Prevalence in organic products compared to conventional products	Antibiotic resistance in organic products compared to conventional products	Reference
Meats	Turkey meat	<i>C. jejuni</i>	Higher prevalence in organic samples	Lower antibiotic resistance rates in organic samples	Tenhagen et al. [4]
		<i>Enterococcus</i> sp.	No data available	Lower antibiotic resistance rates in organic samples	[21]
		<i>E. coli</i>	No data available	No statistical differences in antibiotic resistances	[7]
		<i>Campylobacter</i> spp.	Lower prevalence in organic samples		[22]
		<i>Salmonella</i> spp.	Lower prevalence in organic samples		
	Chicken products	<i>L. monocytogenes</i>	No statistical differences in the prevalence		[23]
			Lower prevalence in organic samples	Lower antibiotic resistances in organic samples	[24]
		<i>Enterococcus</i> sp.	Higher prevalence in organic samples		[25]
				Lower antibiotic resistance rates in organic samples	
				Lower antibiotic resistance rates in organic samples	[21]
Vegetables	Pork products	<i>L. monocytogenes</i>	Lower prevalence in organic samples		[26]
	Chicken breast	<i>Salmonella</i>		Lower antibiotic resistance rates in organic samples	[5]
	Ground beef ground turkey	<i>Campylobacter</i> , <i>Enterococcus</i>			
	Pork chops	<i>E. coli</i>			
	Lettuce	Tetracycline and sulfadiazine-resistant bacteria		No statistical differences in antibiotic resistances	[8]
Milk and milk products	Variety of vegetables	<i>E. coli</i>	Higher prevalence in organic samples		[27]
		<i>E. coli</i>	No statistical differences in the prevalence		[28]
	Fresh cheese	<i>Staphylococcus</i> spp.		No statistical differences in antibiotic resistances	[26]
Eggs	Milk	<i>S. aureus</i>	Lower prevalence in organic samples		[29]
	Egg content	<i>Enterococcus</i> spp.	Lower prevalence in organic samples		Schwaiger et al. [30]
	Eggshell		No statistical differences in the prevalence		
	Eggshell and egg content	<i>E. faecalis</i>		Lower antibiotic resistance rates in organic samples	

Tableau 4 : Comparaison de la présence de bactéries et de gènes de résistance antibiotique entre aliments conventionnels et bio

Ager et al. (2023) se sont basés sur 72 études de haute qualité scientifique (qui ont satisfait leurs critères de tri parmi plus de 1700 publications) traitant de l'antibiorésistance dans 22 pays et sur 5 pathogènes. Leurs résultats montrent une variabilité importante des politiques nationales liées à l'utilisation des antibiotiques et dans la définition de l'AB entre les différents pays ce qui limite la généralisation des conclusions. **Au global, les fermes conventionnelles présentent des niveaux plus élevés de prévalence des souches bactériennes résistantes aux antibiotiques (28 %) que leurs homologues menées en AB (18 %) avec cependant de fortes disparités en fonction des contextes.** On peut noter que les échantillons des fermes bio et conventionnelles présentent souvent des hauts niveaux de résistances suggérant le besoin de politiques plus strictes et harmonisées pour contrôler les contaminants antibiotiques apportés par le sol (particulièrement en bio, où l'utilisation des amendements conventionnels peuvent faciliter la diffusion des souches résistantes).

En résumé : antibiorésistance.

Sur l'ensemble des élevages, l'AB montre bien une réduction significative du recours aux antibiotiques. Les résultats des études consultées suggèrent que l'AB est moins impactée par la prévalence des souches bactériennes résistantes et peut contribuer à réduire le fardeau sanitaire de l'antibiorésistance.

I.1.D. Les externalités sanitaires importées

L'ensemble du travail précédemment présenté traite des externalités sanitaires associées aux pratiques agricoles réalisées sur notre territoire français. Néanmoins, notre alimentation est composée pour partie de produits importés (en France, une estimation selon un rapport sénatorial¹⁰ indique près de 20 % en valeur de produits alimentaires importés). Ces produits importés consommés en France ne sont pas sans impacts sanitaires sur les populations d'où viennent ces produits, d'autant plus que la réglementation en termes de protection sanitaire et environnementale est une des plus restrictives en Europe et en Amérique du Nord. Ce même rapport sénatorial estime « *sur la base des non-conformités constatées par les autorités de contrôle (DGCCRF et DGAL) à la suite d'un contrôle physique en 2017, qu'entre 8 et 12 % des denrées alimentaires importées de pays tiers ne respectent pas les normes européennes de production et sont susceptibles de porter atteinte à la sécurité sanitaire de nos concitoyens* ».

Il y a également les intrants importés pour l'agriculture conventionnelle, notamment les PPP et les engrais phosphatés et azotés. Nous pouvons citer pour exemple la contamination des eaux de consommation en fluorure par les mines d'extraction de phosphates au Maroc (El Jaoudi et al., 2012).

En résumé : les externalités importées

Les impacts sanitaires associés aux intrants chimiques importés sont évités en bio, à la fois pour les populations locales d'où sont issus les produits, mais également pour les consommateurs français qui évitent l'exposition aux résidus des dits-intrants.

I.2. Les intrants utilisés en transformation agro-alimentaire

I.2.A. Les additifs alimentaires

I.2.A.1) Caractérisation et usages

Définition et réglementation

Le règlement CE 1333/2008 définit l'additif alimentaire comme étant « *toute substance habituellement non consommée comme aliment en soi et non utilisée comme ingrédient caractéristique dans l'alimentation, possédant ou non une valeur nutritive, et dont l'adjonction intentionnelle aux denrées alimentaires, dans un but technologique, au stade de leur fabrication, transformation, préparation, traitement, conditionnement, transport ou entreposage a pour effet, ou peut raisonnablement être estimée avoir pour effet, qu'elle devient elle-même ou que ses dérivés deviennent, directement ou indirectement, un composant de ces denrées alimentaires* ». Les additifs doivent obligatoirement

¹⁰ <https://www.senat.fr/rap/r18-528/r18-5281.pdf>

être mentionnés dans la liste des ingrédients figurant sur l'étiquetage d'un produit alimentaire. Ils peuvent être d'origine naturelle (obtenus à partir d'extraits végétaux ou minéraux, d'algues ou de microorganismes) ou de synthèse.

Les principales familles d'additifs alimentaires sont les colorants (E1XX), les conservateurs (E2XX), les antioxydants (E3XX), les agents de texture (E4XX), les anti-agglomérants (E5XX), les exhausteurs de goût (E6XX) et les édulcorants (E9XX).

En Europe, l'EFSA, en charge de l'évaluation des additifs alimentaires, détermine la Dose Journalière Acceptable (DJA en mg/kg de poids corporel, soit la quantité d'un additif alimentaire qui peut être consommée quotidiennement sans aucun effet néfaste sur la santé). Les produits transformés peuvent inclure dans leur formulation des additifs alimentaires dont certains sont suspectés d'avoir des effets secondaires néfastes pour la santé. Ces substances sont régulièrement réévaluées à la lumière de nouvelles informations scientifiques ou de nouvelles conditions d'utilisation. En 2020, Prache et al. soulignent que « les niveaux maximaux autorisés se fondent sur les effets potentiels « individuels » de l'additif étudié dans un produit alimentaire donné. C'est-à-dire que ni ses interactions avec d'autres additifs, ni les interactions entre aliments (l'effet cocktail), ne sont prises en compte lors de l'évaluation initiale pour l'autorisation de mise sur le marché. **L'impact sur la santé de la consommation régulière et cumulée d'additifs alimentaires n'est donc pas connu** ». Toutefois, (Sellem et al., 2024) ont récemment établi de possibles liens entre les apports alimentaires en additifs émulsifiants et la survenue des cancers à partir de la cohorte NutrinetSanté. Il s'agit de la première étude observationnelle en la matière, qui ne suffit donc pas, à elle seule, à établir de lien de cause à effet, mais qui prend en compte un large éventail de facteurs potentiellement confondants, tout en utilisant des données détaillées et uniques sur les expositions aux additifs alimentaires, allant jusqu'à la marque des produits industriels consommés.

Les effets cumulatifs de plusieurs types d'additifs (effet cocktail) ne sont que très peu documentés.

Les additifs autorisés pour la transformation des denrées biologiques sont évalués par un groupe d'experts mandatés par la Commission Européenne (Expert Group for Technical advice for Organic Processing - EGTOP -), en considérant les principes fondateurs de la bio. Ce groupe évalue la nécessité technique et les alternatives envisageables (y compris les procédés qui permettent de les éviter) avant de proposer l'ajout de ces substances dans le règlement bio. Les formes naturelles et non OGM des additifs sont favorisées pour leur utilisation en transformation biologique. Les additifs autorisés en bio sont définis et leur usage est encadré par l'annexe 5 du règlement 2021/1165. Un groupe de travail a été mis en place au sein du Réseau Mixte Technologique ACTIA Transfo Bio afin de proposer des alternatives à l'emploi de certains additifs.

Nombre d'additifs autorisés

Le règlement européen CE 1333/2008 autorise 340 substances en alimentation humaine. Certains labels restreignent l'usage et les doses d'additifs utilisés, comme le label bio qui autorise uniquement 57 additifs dans les produits alimentaires biologiques transformés (règlement d'exécution UE 2021/1165, Annexe V, partie A, section A1 mise à jour du 09/01/2024).

Les principes fondateurs de l'agriculture biologique étant basés sur la naturalité, l'utilisation des additifs est jugée comme n'étant souvent pas indispensable et donc évitable. Ainsi, aucun additif colorant n'est autorisé en transformation bio hormis ceux utilisés traditionnellement pour certains fromages ; les arômes de synthèse et exhausteurs de goût ne sont pas autorisés dans les produits biologiques. Le règlement bio encadre les conditions et les doses d'usage de certains des additifs autorisés. Certains cahiers des charges bio privés vont encore plus loin dans la restriction des additifs autorisés dans leurs produits transformés certifiés (notamment pour le E 250 Nitrite de sodium et le E 252 Nitrate de potassium, interdits dans des cahiers des charges comme Demeter ou Bio Cohérence).

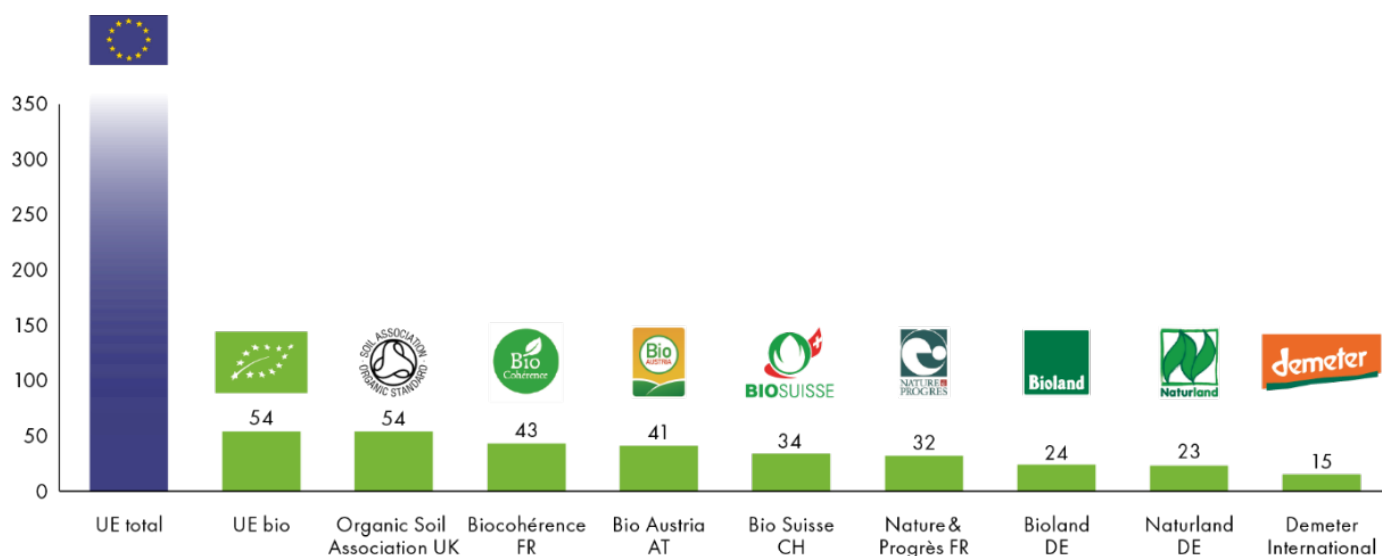


Figure 7 : Nombre d'additifs autorisés en Europe pour la transformation des aliments conventionnels et biologiques (informations datant de janvier 2021). Figure issue du document Durabilité et Qualité des aliments biologique, FIBL

La réglementation de la transformation des produits bio limite la liste des additifs et auxiliaires technologiques utilisables en AB. Il est donc possible d'identifier les additifs qui sont absents de l'offre alimentaire biologique. Elle permet de donner une image à date des additifs évités par la consommation de produits biologiques, mais ne reflète pas l'exposition des consommateurs.

Ampleur de l'usage des additifs alimentaires

L'étude menée par l'Oqali (2019) en France montre que seuls **22 % des produits alimentaires transformés ne contiennent aucun additif**, parmi les 30 125 produits transformés étudiés. Cette étude ne distingue pas les produits bio et conventionnels.

La répartition du nombre d'additifs dans les produits alimentaire français est la suivante : 0 additif : 22 % ; 1 additif : 18 % ; 2 additifs : 13 % ; ≥3 additifs : 47 %

Parmi les 340 additifs autorisés, seuls 285 sont utilisés dans l'échantillonnage de produits observés (NB : cet échantillonnage ne contient pas les produits de confiserie). Les plus utilisés sont les suivants :

Additif	Pourcentage de produits alimentaires concernés	Usage	Autorisé en bio ?
E 330 Acide citrique	23 %	Régulateur d'acidité	oui
E 14xx Amidons modifiés	22 %	Epaississant	non
E 322 Lécithines	17 %	Emulsifiant	oui
E471 Mono et Di-glycérides d'acides gras	15 %	Emulsifiant, gélifiant	non

Tableau 5 : Additifs alimentaires les plus couramment utilisés en France (selon Oqali, 2019), usages et autorisation en bio.

En résumé : en Europe, 340 additifs alimentaires sont autorisés dans la fabrication des aliments transformés, alors que seuls 57 sont autorisés par le règlement bio : il y a ainsi près de 6 fois moins d'additifs alimentaires autorisés pour les produits bio que pour les produits alimentaires non bio.

I.2.A.2) Exposition des consommateurs aux additifs alimentaires et risques pour la santé

L'exposition de la population française aux additifs alimentaires a été étudiée par l'EREN (Equipe de recherche en épidémiologie nutritionnelle) à partir de la cohorte NutriNet-Santé (Chazelas et al., 2021). **Les consommateurs français sont exposés de façon chronique aux additifs alimentaires**, avec une consommation moyenne s'élevant à 155 mg/j/kg de masse corporelle : à partir de ce chiffre, l'UFC Que Choisir a donné l'ordre de grandeur d'une consommation moyenne de 4 kg/an/personne (sur la base du poids moyen d'un français de 72.4 kg), soit une consommation quotidienne de 11.3 g d'additifs.

48 additifs différents sont consommés par plus de 10 % des participants, les amidons modifiés et l'acide citrique étant consommés par plus de 90 % des participants. Parmi les 50 additifs les plus fréquemment ingérés via l'alimentation, Chazelas et al. (2021) rappellent que l'on retrouve plusieurs additifs pour lesquels des « effets néfastes potentiels sur la santé ont été suggérés par des études expérimentales » récentes (voir ci-dessous) :

- ▶ **14 pourraient présenter des risques pour la santé humaine** (E 322 Lécithines, E 407 Carraghénanes, E 250 Nitrites de sodium, E 471 Mono- et diglycérides d'acides gras, E 450 à E 455 di-, tri- polyphosphates, E 262 Sorbate de potassium, E 224 Métabisulfite de potassium, E 950 Acésulfame K, E 120 Cochenille carmin, E 252 Nitrate de potassium, E 150d Caramel au sulfate d'ammonium, E 160i Bixine de rocou, E 621 Glutamate monosodique, E 955 Sucralose).
- ▶ **6 sont autorisés en bio pouvant présenter des risques pour la santé humaine**, parmi les 14 additifs pointés par Chazelas et al. (2021) : E 322 Lécithines, E 407 Carraghénanes, E 250 Nitrites de sodium, E 224 Métabisulfite de potassium, E 252 Nitrate de potassium, et E 160i Bixine de rocou.

I.2.A.3) Additifs et risques de développer des pathologies

Il est difficile de quantifier l'exposition des consommateurs sans données issues d'études de cohorte telles que NutriNet-Santé. En outre, certains additifs sont sur-consommés par certaines catégories de populations : par exemple, les colorants concernent des produits particulièrement consommés par les enfants (confiseries).

Par ailleurs, l'obligation d'étiquetage des additifs alimentaires est qualitative, ce qui ne permet pas d'évaluer précisément les quantités présentes dans les aliments transformés. Dans le but d'avoir une approche de quantification très estimative, une extraction de la base de données Open Food Facts (OFF) a été réalisée afin d'avoir un aperçu du nombre de produits comportant des additifs sur le marché français¹¹.

Nous avons inclus ces informations dans le tableau 5 et ainsi que l'analyse réalisée par Chazelas et al. (2021) concernant les additifs auxquels les consommateurs sont le plus fréquemment exposés, ainsi que les additifs suspectés de risques pour la santé selon des études récentes en spécifiant leur autorisation en bio :

¹¹ Extraction réalisée le 27/03/2024 sur l'ensemble du marché français : total de 1 018 371 produits dont 125 419 produits bio, dont 18 440 produits bio contenant des additifs

Additif	% de consommateurs exposés (Chazelas et al., 2021)	Usage	Autorisé en bio?	Risques suspectés	Fréquence d'usage relevée sur OFF
<u>E 322 Lécithines</u>	86,6 %	Emulsifiant	oui	Rôle potentiel dans la maladie de Crohn, et la maladie coronarienne (Marion-Letellier et al., 2019; Roberts et al., 2013)	Aliments bio : 1,78 %
				Contribuent potentiellement au durcissement des artères ou à l'athérosclérose et aux crises cardiaques (Tang et al., 2013)	Aliments non bio : 3,27 %
<u>E 471 Mono- et diglycérides d'acides gras</u>	78,1 %	Agent de texture	non	Pourraient augmenter la perméabilité intestinale, favoriser les maladies auto-immunes et les allergies (Csaki, 2011)	Aliments bio : / Aliments non bio : 1,67 %
				Pourraient favoriser les pathologies inflammatoires de l'intestin et le syndrome métabolique chez la souris (Chassaing et al., 2015)	
				Associés à un risque global de cancers plus élevé en étude de cohorte (Sellem, L. et al., 2022), au risque de cancer global, du cancer du sein et de la prostate en étude de cohorte (Sellem et al., 2024).	
<u>E 407 Carraghénanes</u>	77,5 %	Agent de texture	oui	Rôle suspecté dans le déclenchement ou l'amplification des maladies chroniques de l'intestin, notamment par l'altération du microbiote intestinal (Naimi et al., 2021)	Aliments bio : 0,46 %
				Associés à une augmentation du risque de cancer du sein en post-ménopause en étude de cohorte (Sellem L. et al, 2022), au risque de cancer du sein en étude de cohorte (Sellem et al., 2024).	Aliments non bio : 1,12 %
<u>E 250 Nitrites de sodium</u>	73,9 %	Conservateur	oui	Nitrites et nitrates associés à une mortalité accrue toutes causes confondues dans les cohortes prospectives, ainsi qu'à des cancers colorectaux, gastriques et pancréatiques (Etemadi et al., 2017; Song et al., 2015; Quist et al., 2018; Hosseini et al., 2020; IARC Volume 94, 2010)	Aliments bio : 0,4 %
				Associés à un risque plus élevé d'hypertension (Srouf B. et al, 2022) et de diabète de type 2 (Srouf B. et al, 2023), de cancer de la prostate (Chazelas et al., 2022) en étude de cohorte	Aliments non bio : 1,52 %

<u>E 450 à E 455 di- tri- polyphosphates</u>	70,1 %	Agent de texture	non	Association des phosphates à des effets vasculaires tels que le dysfonctionnement endothélial et la calcification vasculaire dans des études expérimentales chez l'homme (Ritz et al., 2012 ; McCarty et al. 2014)	Aliments bio : / Aliments non bio : 2,76 %
				A hautes doses peuvent contribuer à la perte osseuse par déminéralisation (Calvo et al., 2017 ; EFSA, 2019), à la calcification du rein et à la néphropathie tubulaire (Seo et al., 2011; EFSA, 2019)	
				E451 Associé à une augmentation du risque de cancer du sein en post- ménopause en étude de cohorte (Sellem et al., 2022)	
<u>E 202 Sorbate de potassium</u>	65,8 %	Conservateur	non	Peut activer l'inflammation, l'exacerbation du diabète et contribuer au déclenchement progressif de cancers (Dehghan et al., 2018)	Aliments bio : / Aliments non bio : 1,27 %
<u>E 224 Métabisulfite de potassium</u>	44,8 %	Conservateur, agent de blanchiment	oui	Association des sulfites à une altération du microbiome intestinal et buccal in vitro (Irwin et al., 2017)	Aliments bio : < 0,01 %
				+ EFSA 2016 et EFSA 2021	Aliments non bio : 0,24 %
<u>E 950 Acésulfame K</u>	34,0 %	Edulcorant	non	Effets controversés des édulcorants sur la santé cardiométabolique et l'adiposité (Bandyopadhyay, 2008)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,37 %
				Edulcorants associés à une néoplasie hématopoïétique et à une altération du microbiote intestinal dans des études expérimentales sur des rongeurs (Suez et al., 2014; Soffritti et al., 2016; Abou- Donia et al., 2008)	
<u>E 120 Cochenille. carmin</u>	33,9 %	Colorant	non	Peut provoquer asthme, allergies, eczéma atopique (Tabar et al., 2003; Lucas et al., 2001; Andreozzi et al., 2019)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,47 %
<u>E 252 Nitrate de potassium</u>	31,6 %	Conservateur	oui	Nitrites et nitrates associés à une mortalité accrue toutes causes confondues dans les cohortes prospectives, ainsi qu'à des cancers colorectaux, gastriques et pancréatiques (Etemadi et al., 2017; Song et al., 2015; Quist et al., 2018; Hosseini et al., 2020)	Aliments bio : 0,06 % Aliments non bio : 0,37 %

				Associé à un risque de cancer du sein en étude de cohorte (Chazelas et al., 2022)	
<u>E 150d Caramel au sulfate d'ammonium</u>	28,8 %	Colorant	non	Peut contenir du 4-méthylimidazole (4-MEI) classé comme potentiellement cancérigène (2B) pour l'homme (IARC, 2013)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,21 %
<u>E 160i Bixine de rocou</u>	19,5 %	Colorant	oui (avec restrictions d'usage)	Peut provoquer des allergies (Myles et al. 2009; Ramsey et al., 2016; Sadowska et al., 2021)	Aliments bio : NC Aliments non bio : NC
<u>E 621 Glutamate monosodique</u>	15,1 %	Exhausteur de goût	non	Possibles effets physiopathologiques et toxicologiques sur la santé humaine. (Ataseven et al., 2016; Chakraborty et al., 2018) Associé au surpoids dans une cohorte prospective (He et al., 2011), à l'hypertension (Shi et al., 2011), à des troubles métaboliques (Kayode et al., 2023)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,52 %
<u>E 955 Sucralose</u>	13,5 %	Edulcorant	non	Effets controversés des édulcorants sur la santé cardiométabolique et l'adiposité (Bandyopadhyay et al., 2008) Edulcorants associés à une néoplasie hématopoïétique et à une altération du microbiote intestinal dans des études expérimentales sur des rongeurs (Suez et al., 2014; Soffritti et al., 2016; Abou-Donia et al. 2008)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,42 %
E 249 Nitrite de potassium	0,96%	Conservateur	non	Mêmes risques que E 250 et E 252	Aliments bio : / Aliments non bio : <0,01 %
E 251 Nitrate de sodium	0,85%			Nettement moins fréquemment utilisés : (E 249 : moins de 0.01 % des produits non bio, E 250 : 1.52 % des produits non bio, E 251 : 0.04 % des produits non bio, E 252 : 0.37 % des produits non bio selon la base de données OFF)	Aliments bio : / Aliments non bio : 0,04 %
E 1xx Colorants	E 160a : 43,5 % E160c : 49,1 % E 120 : 33,9 % E 100 : 33,2 % E 150d : 28,8 % E 161b : 25,3 %	Colorant	non (sauf 3 exceptions à usage restreint)	Implication dans des troubles du comportement et les TDAH (Schab et al. 2004; Nigg et al., 2011). Le règlement CE 1333/2008 contraint à indiquer sur l'emballage la mention « peut avoir des effets indésirables sur l'activité et	Aliments bio : 0,09 % Aliments non bio : 6,46 %

	E 150a : 22,9 % E 160b : 19,5 % E 163 : 12,3 % E 150c : 10,4 % E 133 : 5,6 % E 172 : 5,2 % E 102 : 3,2 % E 131 : 3,2 % E 150 : 2,9 % E 160e : 1,9 % E 110 : 1,5 %			l'attention chez les enfants » pour l'usage de 6 colorants. Selon la base de données OFF, plus de 5 % des produits alimentaires contiennent des colorants.	
E 950 à E 969 Edulcorants	E 950 : 34 % E 951 : 27,8 % E 952 : 0,67 % E 954 : 2,11 % E 955 : 1,59 % E 960 : 0,09 %	Edulcorant	non (sauf Erythritol)	Peuvent altérer le microbiome intestinal entraînant des troubles intestinaux et une inflammation favorisant le développement du syndrome métabolique (Paula Neto et al., 2017) Pour les grands consommateurs, sont associés à un risque plus élevé de cancer global, de cancer du sein et de cancers liés à l'obésité (Debras et al., 2022a), à un risque accru de maladies cardiovasculaires (Debras et al., 2022b) L'aspartame (E 951) est classé comme « peut-être cancérigène » pour l'homme (groupe 2B) par le CIRC (IARC Monograph Volume 134, 2023); il a été associé à un risque accru de cancer (Debras et al., 2022a). L'aspartame (E 951) est classé comme « peut-être cancérigène » pour l'homme (groupe 2B) par le CIRC (IARC Monograph Volume 134, 2023); il a été associé à un risque accru de cancer (Debras et al., 2022a).	Aliments bio (pour l'érythritol): 0,017 % Aliments non bio : 1,66 % (Aspartame : 0,18 %)
E 968 Erythritol	absence de données	Edulcorant	oui	Seul édulcorant autorisé en bio, peut altérer le microbiome intestinal entraînant des troubles intestinaux et une inflammation favorisant le développement du syndrome métabolique (Paula Neto et al., 2017) Cet édulcorant est retrouvé dans 0.017 % des produits bio, et 0.03 % produits non bio en France selon OFF.	Aliments bio : 0,017 % Aliments non bio : 0,03 %
E 472, E 472b, E 472c (+E 471 : voir plus haut)	E 472 : 1,87 % E 472b, E 472 c : absence de données	Emulsifiant	non	Peuvent altérer le microbiome intestinal entraînant des troubles intestinaux et une inflammation favorisant le développement du syndrome métabolique (Paula Neto et al., 2017; Partridge et al., 2019)	Aliments bio : / Aliments non bio : 1,67 %

				E 471, E 472, E 472 b et E 472c sont associés à des risques de Maladies Cardiovasculaires (Sellem et al., 2023)	
E 460 à E 469 Celluloses	absence de données	Agent de texture	non (sauf E 460 à usage restreint aux gélamines, voir ci-dessous), et E 464 à usage restreint à l'encapsulation de gellules	Des apports élevés en cellulose totale augmenteraient le risque de maladie coronarienne (Sellem et al., 2023) La carboxy-méthyl-cellulose (E 466) quant à elle est suspectée d'augmenter la prévalence des maladies inflammatoires chroniques en altérant le microbiome intestinal (Chassaing et al., 2022).	Aliments bio (E 460 + E 464 uniquement) : 0,08 % Aliments non bio : 0,57 % (E 466 : 0,24 %)
E 460 Cellulose	absence de données	Agent de texture	oui (usage restreint)	Autorisée en bio, pour un usage limité à la production de gélamines 0.01 % des produits bio et t 0.12 % des produits non bio en France dans la base de données OFF	Aliments bio : 0,01 % Aliments non bio : 0,12 %
E 460 Cellulose	absence de données	Agent de texture	oui (usage restreint)	Autorisée en bio, pour un usage limité à la production de gélamines Des apports élevés en phosphate trisodique (E 339) augmenteraient le risque de maladie coronarienne (Sellem et al., 2023) 0.11 % des produits non bio selon la base de données OFF	Aliments bio : 0,01 % Aliments non bio : 0,12 %
E 341 Phosphate de calcium	23,5%	Antioxydant	oui (usage restreint)	Seul additif phosphaté autorisé en bio, son usage est limité à une utilisation en tant que poudre à lever dans les farines fermentantes. Les phosphates sont associés à des effets vasculaires tels que le dysfonctionnement endothélial et la calcification vasculaire dans des études expérimentales chez l'homme (Ritz et al., 2012 ; McCarty et al. 2014) ; à haute dose, ils peuvent contribuer à la perte osseuse par déminéralisation (Calvo et al., 2017 ; EFSA, 2019), à la calcification du rein et à la néphropathie tubulaire (Seo et al., 2011 ; EFSA, 2019).	Aliments bio : 0,16 % Aliments non bio : 0,19 %
E 220 à E 228 Sulfites	E 220 : 0,14 % E 222 : 0,04 % E 223 : 4,17 % E 224 : 1,45 % E 221, E 225, E 226, E 227, E228 : absence de données	Conservateur	non (sauf E 220, E 223 et E 224 à usage restreint, voir ci-dessous)	Réactions d'intolérance, en particulier chez les personnes asthmatiques, réactions cutanées, symptômes respiratoires et inflammatoires pulmonaires (EFSA, 2016). Les sulfites font partie des allergènes à déclaration obligatoire selon le règlement ICO 1169/2011,	Aliments bio : 0,06 % Aliments non bio : 0,73 %

	E 221, E 225, E 226, E 227, E 228 : absence de données			L'EFSA souligne à nouveau, dans sa dernière évaluation de 2021, la lacune de données disponibles sur la toxicité de ces additifs, et indique que l'ampleur de leurs effets nocifs n'a pu être confirmée et la DJA n'a pas pu être déterminée. A noter que la réglementation européenne autorise aujourd'hui les sulfites jusqu'à 2000 mg/kg pour certains fruits secs (abricots, pêches, raisins, prunes, figues) quand la réglementation sur les additifs autorisés en bio les interdit pour ces produits.	
E 220 Dioxyde de soufre, E 223 Métabisulfite de sodium, E 224 Métabisulfite de potassium	E 220 : 0,14 % E 223 : 4,17 % E 224 : 1,45 %	Conservateur	oui	Ce sont les seuls sulfites autorisés en bio. Les risques pour la santé de cette famille d'additifs ont été détaillés au paragraphe précédent. Le E 220 et le E 224 sont autorisés en bio pour les vins de fruits et l'hydromel à une dose une dose maximale de 100 mg/L (soit 2 fois moins que la dose autorisée en conventionnel), et le E 223 est autorisé uniquement pour les crustacés bio. OFF recense 0.017 % de produits bio contenant du E 220, 0.034 % contenant du E 223 et 0.01 % contenant du E 224 ; et respectivement 0.18 %, 0.21 %, et 0.25 % des produits non bio.	Aliments bio : 0,06 % (E 220 : 0,017 %, E 223 : 0,03 %, E 224 : 0,01 %) Aliments non bio : 0,64 % (E 220 : 0,18 %, E 223 : 0,21 %, E 224 : 0,25 %)
E 551 Dioxyde de silicium	absence de données		oui	Favoriserait la mise en place de la maladie cœliaque - à confirmer sur l'être humain - (Lamas et al., 2024) Selon OFF, il concerne 0.1 % des produits non bio et moins de 0.01 % des produits bio en France	Aliments bio : < 0,01 % Aliments non bio : 0,1 %

Tableau 6 : Additifs pouvant présenter des risques pour la santé, l'exposition des consommateurs, leurs usages, leur autorisation par la réglementation Bio ainsi que les risques suspectés liés à leur consommation.

Il convient **d'évaluer si ces différences de l'offre alimentaire bio vs non-bio entraîne un impact sur l'exposition des consommateurs**. Le nombre restreint d'additifs, l'interdiction de certaines catégories d'additifs (colorants, édulcorants – hormis l'érythritol -) et les limitations d'usage et de dose par le règlement bio pourraient conduire à limiter l'exposition des consommateurs de produits biologiques à certains risques possibles. Les données tirées de la base de données OFF semblent également indiquer un usage moins fréquent des additifs dans les produits bio, et notamment des additifs suspectés d'impacts négatifs sur la santé.

Cependant, l'état actuel des connaissances ne permet pas d'estimer la modulation par les aliments bio de l'exposition aux additifs : les régimes et les teneurs en additifs des aliments bio vs conventionnels n'étant pas considérés.

Focus Nitrites/Nitrates :

Pourquoi la question de limiter ou interdire l'usage des nitrites et nitrates en tant qu'additifs dans l'alimentation se pose-t-elle ?

Largement présents dans l'industrie de transformation des viandes, ces additifs sont utilisés pour leurs multiples intérêts fonctionnels et sanitaires : ils stabilisent la couleur rose des charcuteries grâce à leur action antioxydante, et limitent le développement de bactéries pathogènes (*Listeria*, *Salmonella* et *Clostridium*) par leur action bactériostatique. La question de la dangerosité de ces additifs a été largement étudiée, en particulier par le CIRC qui les classe dès 2010 en cancérogènes probables pour l'homme (groupe 2A) lorsqu'ils sont consommés en condition de nitrosilation (Prache et al., 2020).

Dans son avis de 2017, l'ANSES recommande de limiter la consommation de charcuterie à 25 g par jour, puis à 150 g par semaine dans son avis de 2022. Santé Publique France a estimé en 2019 que plus de 60 % de la population française dépasse les recommandations de l'ANSES de consommer moins de 150 g de charcuterie par semaine.

Les produits carnés traités contribuent entre 41 % et 63 % de l'exposition totale en nitrites selon les niveaux de consommation des consommateurs (ANSES, 2022). En 2022, l'ANSES confirme le **lien entre risque de cancer colorectal et exposition aux nitrites et nitrates** via la consommation de viande transformée et la consommation d'eau, et conclut également que des liens avec d'autres cancers sont suspectés, mais que les données disponibles ne permettent pas de conclure. L'étude de Chazelas et al. (2022), basée sur la cohorte NutriNet-Santé, montre que **les grands consommateurs de nitrates alimentaires (en particulier le nitrate de potassium E252) ont un risque plus élevé de cancer du sein, et les gros consommateurs de nitrites (en particulier le nitrite de sodium E250) présentent un risque plus élevé de cancer de la prostate.**

Une méta-analyse a mis en évidence qu'un **apport élevé ou modéré en nitrites provenant de l'alimentation était associé à un risque plus élevé de cancer gastrique** (Zhang et al., 2019). Deux autres méta-analyses récentes ont également mis en évidence l'association positive entre les nitrates (mais pas les nitrites) provenant de l'alimentation globale et les risques de cancer colorectal (Hosseini et al., 2021) et ovarien (Khodavandi et al., 2021).

Point sur l'usage des nitrates et nitrites en tant qu'additifs dans les produits alimentaires

L'usage des nitrites s'est plutôt amplifié dans les dernières décennies. Chazelas et al. (2022) ont trouvé dans la base de données OFF 15000 références contenant des additifs nitrates ou nitrites sur le marché français en octobre 2020. En France, toutes sources d'expositions confondues, près de 99 % de la population ne dépasse pas les doses journalières admissibles (DJA) établies par l'EFSA (ANSES, 2022).

L'avis de 2022 de l'ANSES reprend les informations issues de la base de données OQALI : sur 34 812 produits, 734 (soit 2,1 %) contiennent des nitrates et 3 041 (soit 8,7 %) contiennent des nitrites en tant qu'additifs.

Qu'en est-il de l'usage des nitrates et nitrites dans les produits alimentaires bio ?

Même si autorisée pour les préparations à base de viande dans le règlement CE 2021/1165 (sous forme E250, nitrite de sodium et E252, nitrate de potassium), l'utilisation de ces additifs se doit d'être justifiée par les opérateurs qui doivent prouver qu'il n'existe pas d'alternative à leur utilisation. **En charcuterie bio, la dose totale maximale de nitrates ou nitrites est donc de 80 mg/kg quand elle peut être de 300 mg/kg en charcuterie non bio selon la réglementation européenne (150 mg/kg de nitrates et 150 mg/kg de nitrites),**

et de 240 mg/kg en France selon le Code des Usages de la Charcuterie (120 mg/kg de nitrates et 120 mg/kg de nitrites) (voir annexe 1). Les labels Demeter et Nature et Progrès interdisent l'usage des nitrites.

Dans son avis de 2022, l'ANSES conclut que « plus la réduction de l'emploi des nitrites est importante, plus le risque microbiologique pour les consommateurs augmente », et confirme la complexité des modalités de diminution de l'exposition de la population. Une diminution à 90 mg/kg de nitrites permet à la fois de maîtriser le risque de développement de la listeria et sans provoquer une augmentation de la peroxydation lipidique. Ainsi, s'ils sont autorisés sous condition dans l'alimentation bio, les additifs nitrates et nitrites sont utilisés à des **doses maximales nettement plus faibles en bio**. S'il reste très difficile de chiffrer les **écarts de teneur réelle en nitrates/nitrites entre aliments bio et non bio par manque de données sur le sujet, on peut émettre l'hypothèse qu'une alimentation bio puisse réduire l'exposition du consommateur à ces additifs controversés**.

En résumé : un grand nombre d'additifs ne sont pas autorisés en bio, néanmoins certains le sont, même si parfois soumis à des restrictions de dose d'emploi et d'usage. L'interdiction de nombre d'additifs problématiques pour la santé dans les aliments bio, et les restrictions de doses d'emploi et d'usages (comme pour les nitrites/nitrates par exemple), pourrait permettre de réduire davantage l'exposition pour les consommateurs. Toutefois, nous ne disposons pas de données fiables sur les doses d'emploi dans les produits bio/non bio. Par ailleurs, à l'échelle du régime alimentaire, l'exposition liée aux restrictions d'additifs en alimentation bio n'est pas quantifiable avec les données à disposition, et donc a fortiori les impacts sur la santé.

I.2.A.4) Prise en compte de la présence d'additifs par l'approche de l'ultra-transformation

La définition de l'ultra-transformation ne fait pas consensus. Bien qu'étant fréquemment critiquée, la classification NOVA (Monteiro et al., 2010) est largement utilisée par la communauté scientifique pour classer les aliments selon leur degré de transformation, ainsi que dans les études épidémiologiques. NOVA classe les aliments selon leur degré de transformation avec une note allant de 1 (produits peu ou pas transformés) à 4 (aliments ultra-transformés -AUT-). Il est souvent reproché à cette classification de ne pas prendre en compte les caractéristiques nutritionnelles de l'aliment ou de ses éventuels bienfaits sur la santé (Huppertz et al., 2019), ce qu'a tenté de faire le score SIGA (Christodoulou et al., 2019).

Prache et al. (2020) rapportent que, si elle est facile d'accès pour le consommateur, la classification NOVA « reste assez empirique et peu discriminante », et elle est aussi controversée : certains nutritionnistes lui reprochent de traiter tous les additifs de la même manière, indépendamment de leurs effets, et la communauté des sciences des aliments lui reproche quant à elle le fait de ne pas dissocier les effets de la transformation de ceux de la formulation des produits. Néanmoins, le score NOVA reste actuellement l'outil de classification des aliments couramment utilisé dans les études scientifiques qui s'intéressent au degré de transformation des aliments. Meadows et al. (2021) rappellent par ailleurs que « les aliments ultra-transformés contiennent également **une variété d'additifs alimentaires, dont certains sont connus pour être nocifs**. Les preuves suggèrent que la consommation d'additifs alimentaires présents dans les aliments ultra-transformés, y compris les additifs ajoutés pour affecter la perception des caractéristiques sensorielles (tels que les colorants, arômes et édulcorants artificiels), ainsi que les nitrates, les phosphates et les agents de conservation, peut augmenter le fardeau des maladies chroniques ».

En outre, dans la population française (étude nationale INCA3), une fréquence plus importante en produits peu transformés ("Minimally Processed Food") a été associée avec un apport plus important en protéines animales (via des produits animaux peu transformés comme le poisson, la volaille ou le lait), une meilleure diversité de protéines végétales, une meilleure qualité du régime et un risque cardiométabolique inférieur (Salomé et al., 2021).

Il n'y a pas de définition consensuelle de l'ultra-transformation, toutefois le score NOVA, développé par Monteiro et al. (2010) est couramment utilisé dans les études scientifiques. Les **aliments ultra-transformés contiendraient plus souvent des additifs dits cosmétiques ainsi que des conservateurs** (Meadows et al., 2021). La prise en compte des procédés de transformation, des ingrédients et additifs marqueurs d'ultra-transformation en sus de la composition nutritionnelle semble nécessaire pour aborder de façon holistique les impacts sur la santé de ces aliments.

Moins d'aliments ultra-transformés dans les produits biologiques

Le règlement bio européen limite les additifs et les auxiliaires technologiques, et favorise les procédés de transformation respectueux des matières premières et de la santé humaine, toutefois sans établir de règles précises en dehors de l'interdiction de l'ionisation, et des résines échangeuses d'ions. Desquilbet et al. (2018) ont fait une évaluation des ventes de produits alimentaires en France, bio et conventionnels, en grande distribution et en magasins bio, selon la classification NOVA (Figure 8).

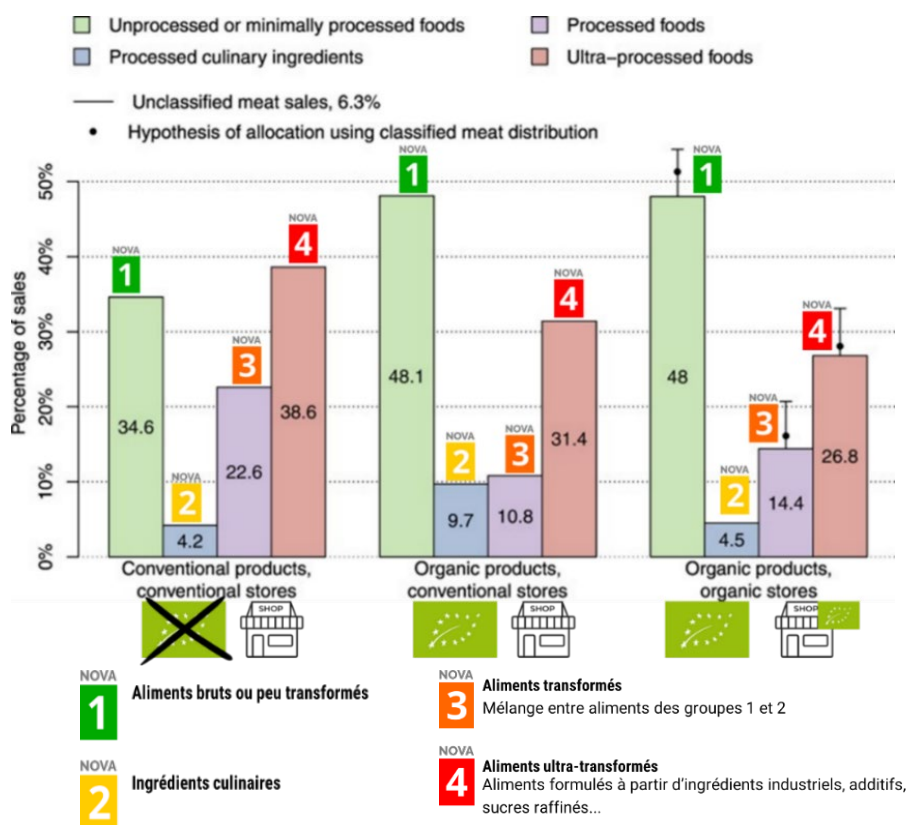


Figure 8 : Représentation des ventes de produits alimentaires en France en fonction de leur classification Nova et de leur lieu de vente (issu de Fardet (2021) d'après les données de Desquilbet et al. (2018))

Cette étude des ventes des produits disponibles sur le marché montre que les produits biologiques achetés sont moins ultra-transformés et plus souvent des produits bruts que les produits conventionnels, et que les

magasins spécialisés bio ont une proportion plus faible d'AUT dans leurs ventes que les magasins conventionnels.

Une étude de Davidou et al. (2022) a montré que la proportion d'aliments ultra-transformés en France (selon la classification SIGA) est de 53 % dans les aliments biologiques et de 74 % dans les aliments conventionnels, et qu'il y avait 8 % de plus d'aliments ultra-transformés biologiques dans les magasins conventionnels que dans les magasins biologiques. Les **aliments ultra-transformés conventionnels contiennent deux fois plus de marqueurs d'ultra-transformation (MUT) totaux** (essentiellement basé sur la formulation des produits i.e. des additifs ou ingrédients fonctionnels) que les AUTS biologiques. Les principaux MUT des AUT biologiques étaient les huiles raffinées, les extraits et les arômes naturels, les amidons natifs, le sirop de glucose, les lécithines et l'acide citrique.

En résumé : l'analyse de l'offre alimentaire en France réalisée par Davidou et al. (2022) montre que les produits bio sont globalement moins ultra-transformés que les produits conventionnels, bien que les aliments bios puissent contenir des marqueurs d'ultra-transformation. Il n'y a toutefois pas de données au sujet de l'impact de cette différenciation de l'offre bio/non bio sur le régime alimentaire des consommateurs, et donc sur d'éventuels effets sur la santé.

Des études complémentaires sur les différences entre les produits transformés biologiques et conventionnels sont nécessaires, afin d'appréhender et de comparer l'utilisation des additifs, et si possible de prendre également en compte les données nutritionnelles et la notion d'ultra-transformation. Des études de cohorte pourraient également permettre d'établir s'il existe des liens entre la part de consommation de produits bio dans les régimes et la consommation d'aliments ultra-transformés.

I.2.A.5) Recommandations visant à réduire les quantités et à limiter les possibles effets cocktails

Appliquant le principe de précaution, plusieurs autorités de santé publique commencent à recommander de **favoriser la consommation d'aliments sans additifs ou avec le moins d'additifs possible**. Ainsi, Santé Publique France, dans son rapport sur les recommandations du PNNS 4, souligne que les produits ultra-transformés « contiennent de nombreux additifs [...] dont on ne connaît pas encore l'impact sur la santé humaine. Par précaution, **privilégiez les aliments sans additifs ou avec la liste la plus courte d'additifs** ». L'identification par l'EREN des cocktails d'additifs les plus fréquents et suspectés d'être associés à des pathologies devrait permettre de prioriser les prochaines recherches épidémiologiques. A date, **l'impact sur la santé de l'apport cumulatif et régulier d'additifs alimentaires et des effets cocktails est mal documenté**, comme souligné par Prache et al. (2020). Aux Etats-Unis, l'American Academy of Pediatrics montre plus spécifiquement des préoccupations quant à l'exposition des enfants aux additifs alimentaires et à ses effets néfastes sur la santé (Trasande et al., 2018).

Néanmoins, quelques interactions entre additifs ont d'ores et déjà été documentées dans le cadre de l'exploration des effets cocktails. On peut citer McCann et al. (2007) qui ont montré qu'un mélange de colorants avec du benzoate de sodium est associé à une hyperactivité accrue chez les enfants ; ou Lau et al. (2006) qui ont mis en lumière des effets neurotoxiques observés entre des combinaisons de bleu brillant (E 133) avec de l'acide L-glutamique ou glutamate (E 620) et de jaune de quinoléine (E 104) avec de l'aspartame (E 951) in vitro, ou encore l'étude menée sur le rat par Basak et al. (2017) qui a observé l'augmentation du stress oxydatif par l'absorption d'un mélange d'additifs colorants alimentaires.

I.2.B. Les auxiliaires technologiques

Les auxiliaires technologiques sont définis par l'ANSES (qui est en charge de leur évaluation avant leur mise sur le marché en France) comme des « substances, non consommées comme ingrédients alimentaires en soi, mais utilisées lors du traitement ou de la transformation de matières premières, de denrées alimentaires ou de leurs ingrédients afin de répondre à un objectif technologique donné ». Les résidus de ces substances ou leurs dérivés peuvent se retrouver dans le produit fini, mais seront considérés comme des auxiliaires technologiques, et non comme des additifs, dès lors qu'ils ne jouent aucun rôle technologique dans le produit fini. Non déclarés sur la liste d'ingrédients obligatoire sur les étiquetages, il est donc impossible d'en retracer les usages et fréquences d'utilisation, et donc de considérer l'exposition des consommateurs à ces substances.

Les auxiliaires technologiques ne font pas l'objet d'un cadre réglementaire harmonisé à l'échelle européenne (à l'exception des solvants d'extraction et des préparations enzymatiques). Ils sont soumis à l'obligation de traçabilité prévue par le règlement CE n°178/2002, au même titre que les ingrédients et additifs. En France, les auxiliaires technologiques sont toutefois encadrés par le décret n°2011-509 du 10 mai 2011. Le règlement CE n°2021/1165 précise les auxiliaires technologiques autorisés en bio (Annexe 5, section A2) : conformément au principe de la bio d'un emploi restreint d'additifs et d'auxiliaires, seuls **42 auxiliaires technologiques** (dont l'eau) **peuvent être utilisés (plus de 400 sont autorisés en alimentation conventionnelle)**, leurs conditions d'usage sont également restreintes et encadrées.

En résumé : les auxiliaires technologiques ne sont pas soumis à l'obligation d'étiquetage contrairement aux additifs alimentaires, ce qui les invisibilise auprès du consommateur et rend indisponible toute information quant à leur présence ou leur fréquence d'utilisation en bio comme en conventionnel. L'exposition de la population à ces substances n'est donc pas évaluable à date. Néanmoins, le règlement bio n'autorise que 42 auxiliaires technologiques quand plus de 400 sont autorisés en alimentation conventionnelle.

I.2.C. Les nanoparticules

La taille ultrafine des nanoparticules leur permet de traverser les barrières physiologiques, et donc de pénétrer entre et dans les cellules. Les nanoparticules présentes dans les additifs présentent des risques de gastrototoxicité, hépatotoxicité, d'altération du microbiote intestinal et de stress oxydatif (Medina-Reyes et al., 2020). La définition réglementaire des nanomatériaux ne fait pas consensus et fait l'objet de controverses notamment sur les bornes dimensionnelles et la répartition par taille. Une recommandation de la Commission Européenne, en 2011, a donné une première définition peu restrictive d'un nanomatériau, puis en 2018, l'EFSA a proposé une définition. En 2022, la Commission Européenne a publié une nouvelle version ; puis en 2023, l'ANSES a publié un avis plus exigeant, montrant l'absence de consensus sur ce sujet.

Parmi les additifs alimentaires, l'ANSES (2020) a identifié 37 substances utilisées en tant qu'additifs alimentaires (dont 30 autorisées en Europe en 2020, et intégrant le E 171 interdit depuis 2022) pouvant présenter un risque lié aux nanoparticules dont 7 pour lesquels la présence de nanoparticules est avérée (* additifs autorisés en bio) :

- ▶ le carbonate de calcium * (E 170),
- ▶ le dioxyde de titane (E 171),
- ▶ des oxydes et hydroxydes de fer (E 172i, ii, iii),
- ▶ le silicate de calcium (E 552),

- ▶ les phosphates tricalciques * (E 341iii),
- ▶ les silices amorphes synthétiques * (E 551),
- ▶ des composés organiques et composites (substances ajoutées ou issues des processus de fabrication de l'aliment).

Depuis l'évaluation de l'ANSES en 2015, l'EFSA a considéré, dans son avis du 6 mai 2021, que le dioxyde de titane E 171 ne peut plus être considéré comme sûr du fait de ses effets génotoxiques. Prenant en compte cet avis, l'Union Européenne a interdit en 2022 l'utilisation de cet additif par le règlement CE 2022/63. En France, le gouvernement avait émis une mesure de suspension dès 2019.

Les nanoparticules sont autorisées pour la production d'aliments conventionnels comme additifs, auxiliaires technologiques ou encore dans les emballages alimentaires. En revanche, **la réglementation bio les proscrit pour la fabrication d'aliments** : le règlement bio CE 2018/848 exclut très explicitement « les denrées alimentaires contenant des nanomatériaux manufacturés ou consistant en de tels nanomatériaux ». Toute adjonction volontaire de substances susceptibles de contenir des nanomatériaux est donc proscrite dans les aliments bio, ce qui ne peut toutefois exclure la présence de nanomatériaux produits de façon non intentionnelle.

Une évaluation de l'ANSES (2020) conduite à partir des bases de données Oqali et du GNPD (Global New Products Database de Mintel – pour les produits de confiserie sur la période de janvier 2014 à octobre 2017) dénombre 900 produits (soit 2,5 % des produits répertoriés) contenant l'une des 7 substances antérieurement pointées par l'ANSES. Parmi eux, les familles de produits les plus concernées sont les confiseries (134 produits), les **glaces et sorbets** (89 produits), les **céréales du petit-déjeuner** (66 produits), les **aliments infantiles de diversification** (63 produits), les **bouillons et potages** (58 produits). A noter que cette évaluation a été faite avant l'interdiction du dioxyde de titane E 171 (qui représentait 1/3 des occurrences).

Remarque : les risques liés aux emballages, à savoir l'exposition à des nanoparticules, et la migration de composés issus des matériaux d'emballage (Ernststoff et al. 2017) et les microplastiques n'ont pas été abordés du fait de la non-spécificité supposée de ces risques en fonction du mode de production biologique ou conventionnel. Cependant, les consommateurs peuvent être exposés à des substances ayant en particulier des effets de perturbation endocrinienne. Les circuits bio peuvent faire appel à des circuits plus courts, avec potentiellement davantage d'aliments distribués en vrac dans ces circuits, mais cet aspect n'étant pas inclus dans le règlement bio, il est difficile de tirer une conclusion générale. Par ailleurs, a contrario, dans les circuits longs, les produits bio peuvent être davantage emballés pour être distingués du conventionnel majoritaire. Ainsi, il conviendrait d'évaluer de façon plus précise si et comment les systèmes alimentaires biologiques sont différents des systèmes conventionnels sur la partie logistique incluant les emballages.

En résumé : les risques éventuels associés à l'usage d'auxiliaires technologiques et à la présence de nanoparticules sont difficiles à appréhender et encore plus à quantifier.

Le règlement bio interdit très clairement l'usage de nanoparticules dans les produits bio, toutefois on ne peut exclure l'éventualité de présence fortuite. Par ailleurs, la question des emballages n'a pas été traitée ici.

En résumé

Cette 1ère partie a abordé les effets des intrants que ce soit pour les populations professionnelles les plus exposés, les riverains avec une exposition particulière, les populations spécifiques telles que les mères pendant la grossesse, les enfants, ainsi, que plus globalement, la population globale, exposée à différents intrants, retrouvés dans les aliments, apportés de façon volontaire ou fortuite, tels que résidus de pesticides, contaminants biotiques ou abiotiques, additifs, auxiliaires technologiques et nanoparticules.

Les atouts de l'AB/AC sont très clairs sur les différentiels d'usage des PPP et les impacts induits sur la santé. Il est important de noter que la question des pollutions induites par les PPP est un sujet à la fois éminemment i) technique et scientifique (cf. les milliers d'articles scientifiques dans les différentes revues, et méta-analyses), mais également ii) politique (débats autour des zones de non-traitement par exemple ou autour du ou des indicateurs de suivi de l'utilisation des PPP) et iii) une question « socialement vive », avec de nombreux articles dans la presse¹².

Par ailleurs, la bio permet de réduire le fardeau de l'antibiorésistance. Elle permet également de réduire la teneur des produits d'environ 30 % pour le cadmium. On ne peut toutefois pas aujourd'hui conclure quant à l'impact sur la santé humaine de cette teneur moindre en cadmium des produits végétaux bio.

En ce qui concerne les risques liés aux intrants de la transformation agroalimentaire, un grand nombre d'additifs ne sont pas autorisés en bio, néanmoins d'autres le sont, même si parfois soumis à des restrictions de dose d'emploi et d'usage. L'interdiction de nombre de ces additifs problématiques pour la santé dans les aliments bio pourrait permettre d'en réduire l'exposition pour les consommateurs, tout comme les fortes restrictions de doses d'emploi et d'usages (comme pour les nitrites/nitrates par exemple). Toutefois, nous ne disposons pas de données spécifiques sur la fréquence d'usage des additifs dans les produits bio ou leurs doses d'emploi : à l'échelle du régime alimentaire, l'impact sur la santé de ces restrictions de nombre d'additifs en alimentation bio n'est donc pas mesurable ou quantifiable avec les données à disposition.

¹² Une récente problématique a émergé avec l'utilisation de PFAS (alkyls perfluorés et polyfluorés ; molécules si solides qu'elles ont été décrites comme des "polluants éternels") dénoncées par des ONG (Génération Futures, et Pesticide Action Network -PAN- Europe). On connaît leur toxicité, pourtant elles sont encore largement utilisées : des prélèvements effectués par ces ONG indiquent des pollutions dans l'eau, l'air et les sols sur de très nombreux sites de la planète.

II. Aliments bio et non bio : qualité sanitaire et nutritionnelle

Cette partie traite des différences d'externalités sanitaires liées aux aliments bio versus non bio. Ce chapitre examine les éventuels risques de contaminations biologiques (eu égard aux pratiques spécifiques en AB : de moindres intrants PPP et une fertilisation organique -cf. partie supra), et examine les éventuelles qualités nutritionnelles comparées.

Par ailleurs, la question de l'ultra-transformation des aliments bio/non bio, et des potentiels impacts est également abordée.

A noter, l'impact des procédés de transformation des produits biologiques comparés aux produits conventionnels sur la santé, n'est pas traitée dans ce rapport, car mal documenté, même s'il existe des distinctions dans les techniques agro-industrielles autorisées par les cahiers des charges et celles réalisées.

II.1. Les contaminants biotiques et abiotiques

II.1.A. Les contaminants biotiques : cas des champignons mycotoxinogènes et AB

La contamination fongique par des espèces libérant des **mycotoxines** dans les organes récoltés des cultures est questionnée en AB en raison de i) l'absence d'utilisation de fongicide de synthèse et ii) l'usage de fertilisants organiques.

Les mycotoxines peuvent se développer au champ, pendant le stockage ou la transformation de la récolte, comme par exemple : la patuline (PAT) en production de pomme ; le deoxynivalenol (DON), HT-2+T-2 toxins, zearalenone (ZEA), le nivalenol (NIV), l'ochratoxine A (OTA), les fumonisines en production de céréales à grains. Les teneurs en mycotoxines dans les céréales et le lait seraient comparables en agriculture conventionnelle et biologique. Les dernières études sur le sujet ont montré l'absence de différence significative entre l'agriculture conventionnelle et l'agriculture biologique (Brodal et al., 2016 ; Pleadin et al., 2017 ; Meemken and Qaim, 2018 ; Gomiero, 2018, 2021). En effet, les exploitations agricoles conduites en agriculture biologique ne semblent pas plus exposées à ces risques dans la revue de littérature de Brodal et al. (2016). De nombreux auteurs suggèrent que les conditions climatiques, l'année, la localisation, le type de labour et la rotation de cultures influencent plus le développement de mycotoxines, en particulier la DON, que le mode de production.

Ce qui est confirmé par le suivi sur 13 ans de sites Français conduits en AB et en conventionnel bas-intrants (Rolland, 2023) :

- ▶ L'incidence du genre *Fusarium* sur grains a été inférieure ou égale à 1 % dans plus de 60 % des combinaisons "année x site". A contrario, le genre *Alternaria* a été retrouvé de façon dominante dans la majorité des combinaisons.
- ▶ Les facteurs principaux expliquant l'incidence des champignons sur le grain, indépendamment du genre et des conditions de production, étaient l'année et les interactions années x site. Ce qui suggère l'influence dominante des conditions environnementales de l'année et du site sur le développement fongique dans et sur le grain.

Cependant, le mode de production peut également avoir un impact comme le montre une étude de Hort et al. (2023) menée en 2019 en Ecosse sur 33 échantillons d'avoine (céréale particulièrement sensible au risque mycotoxine) et analysant les mycotoxines suivantes : type A trichothecenes T-2-toxine, HT-2-toxine, diacetoxyscirpenol; type B trichothecenes deoxynivalenol, nivalenol; zearalenone et leurs glucosides respectifs. Elle indique que sur ces 12 mycotoxines analysées, les avoines biologiques étaient contaminées à des

concentrations moyennes significativement inférieures que leurs homologues conventionnelles pour des paramètres météorologiques jugés équivalents. Ces résultats montrent que les toxines T2 et HT2 libres et conjuguées posent un problème majeur dans la production d'avoine écossaise et que leur **production en bio avec une rotation des cultures offre une stratégie de limitation du risque.**

Les métabolites toxiques des champignons mycotoxinogènes peuvent également passer dans les organes des animaux d'élevage via leur alimentation. Un article de Hort et al., (2018) indique que sur 70 échantillons de foie de porc et 25 de muscle, les teneurs en ochratoxine A (OTA) ont été détectées ou quantifiées dans 67 % des échantillons de foie et 76 % des muscles. **Il n'a pas été constaté de différences significatives en termes de contamination entre les 3 modes de productions étudiés : bio, label rouge et conventionnel.**

L'ensemble de ces données ne soutient pas l'hypothèse d'une contamination habituelle supérieure des productions biologiques.

II.1.B. Le risque microbiologique en AB

Les **contaminations bactériennes** semblent similaires en agriculture conventionnelle et biologique (Smith-Spangler et al., 2012 ; Mie et al., 2017 ; Gomiero 2018). Néanmoins, une récente étude de Jones et al. (2019) indique que les insectes (coprophage) et les micro-organismes pourraient rapidement supprimer les fèces, réduisant ainsi la persistance des pathogènes humains associés. Ceci suggère que l'amélioration de la sécurité alimentaire pourrait être un service important et sous-estimé dans les fermes à forte biodiversité.

II.1.B.1) Comparaison bio/non-bio de la prévalence des bactéries pathogènes

Sosnowski et Osek (2021) ont analysé la qualité microbiologique des produits bio d'origine animale :

- ▶ *Campylobacter spp.* a été retrouvé plus souvent dans les élevages de volailles ayant un parcours extérieur que dans les élevages en cages, cependant le niveau de contamination de la chair était similaire (Lücke, 2017). Heuer et al. (2001) et Rosenquist et al. (2013) ont également rapporté un taux de prévalence plus élevé de *Campylobacter spp.* dans les élevages avec parcours que dans les poulaillers fermés conventionnels (100 % et 54,2 %, respectivement).
- ▶ De la même façon, il a été montré une prévalence supérieure de *Campylobacter spp.* dans les élevages de porcs s'affranchissant des antimicrobiens (77.3 %) contre 27.6 % dans les élevages conventionnels (Thakur et al., 2005).

Economou et al. (2015) ont examiné 369 échantillons de viande de poulet d'élevages avec parcours et de fermes conventionnelles et ont montré une prévalence supérieure en *Campylobacter spp.* dans les viandes conventionnelles (29.6 %) par rapport aux élevages avec parcours (25 %). Les oiseaux sauvages et le sol ont été considérés comme une source importante de contamination pour les élevages avec un accès extérieur.

- ▶ Les *Salmonella spp.* ont été retrouvées dans un faible nombre de **volailles bio** (après abattage), suggérant que les animaux élevés en AB sont moins sensibles aux infections par ces bactéries (Lücke, 2017). Dans une étude sur 595 œufs échantillonnés dans des élevages de poules en cage ou avec accès extérieurs, les salmonelles ont été retrouvées **deux fois plus dans les élevages conventionnels** (5.3 % - n= 208- contre 2.6 % en bio -n=387-).

A contrario, une autre étude de prévalence des salmonelles dans les élevages de **porcs** a donné des résultats inverses : une prévalence plus forte dans les élevages avec accès extérieur que sans, suggérant un risque de

retrouver des salmonelles dans les viandes (Leifert et al. ,2008). Tamang et al. (2015) ont également montré **que les salmonelles sont plus souvent retrouvées en élevage bio (8.3 %) qu'en élevage conventionnel (3.5 %).**

Fossler et al. (2005) ne voient pas de différence de prévalence significative entre **les élevages laitiers bio et conventionnels** (5.2 % et 4.8 %, respectivement). Pour les **poulets de chair**, Esteban et al. (2008) trouvent davantage de présence de salmonelles en bio (2,9 % de poulet de chairs (bio) qu'en conventionnel (1.7 %).

- ▶ Concernant *Listeria monocytogenes*, Esteban et al. (2008) n'enregistrent pas de différence de détection entre élevage de volailles bio et conventionnelle (26.5 % et 26.7 %, respectivement (12). Gücükoğlu et al. (2020) retrouvent un taux de présence similaire sur des échantillons de viande de volaille bio (25 %), tandis que Schwaiger et al. (2010) ne détectent aucune contamination sur plus de 1000 échantillons prélevés dans différents types d'élevage de volailles (y compris dans des œufs). Pesavento et al. (2017) ont montré l'absence de *L. monocytogenes* dans 300 échantillons d'œufs collectés en fermes volaillères bio et plein air. Enfin, Jones et al. (2012) confirment l'absence de différence de prévalence de *Listeria* spp. entre les œufs collectés dans des élevages en cage et en plein air.

Une revue de littérature des bactéries pathogènes et bénéfiques comparée entre produits alimentaire bio et conventionnelle a été réalisé par Murali et al., en 2023, conforte l'étude de Hoogenboom (2008) et donne comme conclusions :

- ▶ La qualité microbiologique des aliments bio est similaire à celle des aliments conventionnels. Cependant certaines études suggèrent que les aliments bio contiendraient moins de pathogènes comme les souches antibiorésistantes.
- ▶ L'utilisation de bactéries bénéfiques dans les aliments bio n'a pas été suffisamment étudiée dans la littérature scientifique.

II.1.C. Les contaminants abiotiques

Les contaminants chimiques sont majoritairement traités dans la première partie ce rapport. On peut cependant citer ici l'impact des contaminants environnementaux hors pesticides sur la qualité des produits biologiques et en particulier les dioxines et les molécules se comportant de manières similaires comme les PCB (polychlorobiphenyl) dans les produits animaux.

Dans le cadre du projet ANR SoMeat, les chercheurs ont indiqué que sur tous les contaminants recherchés dans des échantillons de viande de différentes espèces (porc, boeuf et poulet), à savoir PCDD/F, PCBs, HBCD et éléments traces inorganiques (Zn, Cu, Cd, Pb, As), **certains de ces contaminants ont été retrouvés à des niveaux plus élevés dans les échantillons biologiques**. La production biologique favorisant les animaux plus âgés à l'abattage et/ou avec des accès à l'extérieur, ils subissent de ce fait une contamination environnementale surtout considérant les contaminants qui s'accumulent en fonction de l'âge et selon le taux de matière grasse des animaux (Tressou et al., 2017 et Dervilly-Pinel, 2017). Les impacts éventuels sur la santé ne sont pas établis.

En résumé : l'étude de la bibliographie montre que les produits biologiques ne sont pas plus susceptibles d'être davantage contaminés par des mycotoxines ou des bactéries pathogènes que les produits conventionnels, du fait des moindres usages de PPP. Dans certains cas (comme l'avoine), il a été montré que le mode de production biologique permettait de limiter le risque de contamination par les mycotoxines.

De même, certaines études suggèrent que les aliments bio contiendraient moins de bactéries pathogènes, comme les souches antibiorésistantes.

II.2. La qualité nutritionnelle des aliments biologiques améliorée comparée aux aliments conventionnels

En comparaison au rapport de 2016 (Sautereau et Benoît, 2016), un état des lieux apportant des précisions sur les différences nutritionnelles entre produits conventionnels et produits bio est réalisé ci-après, par catégorie d'aliments. Des données chiffrées précisées sont apportées en annexe 2. Il y a toutefois peu de nouvelles références bibliographiques postérieures à 2016.

De très nombreuses études ont été réalisées pour comparer la teneur en divers composants nutritionnels dans différentes cultures ou produits d'origine animale selon le mode de production, biologique ou conventionnel. Ces études ont été compilées dans plusieurs revues systématiques et méta-analyses. La majorité des études scientifiques et des méta-analyses s'accordent pour dire qu'il existe certaines différences de composition entre les aliments produits en bio et les aliments produits de façon conventionnelle (Reganolds et Watcher., 2016).

En préambule, comme le notent Prache et al. (2022), il est nécessaire de rappeler que « **les critères d'évaluation des attributs nutritionnels changent constamment avec les connaissances scientifiques** (un exemple illustratif est le débat autour du cholestérol) et dans les lignes directrices nutritionnelles, ce qui signifie que les études et les modèles basés sur des indicateurs de valeur nutritionnelle doivent être régulièrement mis à jour. »

II.2.A. Les produits bruts

II.2.A.1) Produits végétaux

Pour Hunter et al. (2011), les aliments végétaux biologiques (légumes, légumineuses et fruits) présentent une teneur en **vitamines et minéraux** – y compris le phosphore - **supérieure de 5,7 % à celle de leurs équivalents cultivés de manière conventionnelle**. Ces résultats ont été vérifiés indépendamment du cultivar, du type de sol, des conditions de récolte et de la méthode d'analyse. Les auteurs expliquent ces résultats par l'hypothèse d'une croissance accélérée, résultant des méthodes agricoles conventionnelles, qui diminue la synthèse des métabolites contenant du carbone comme l'acide ascorbique.

La méta-analyse de Brandt et al. (2011), a aussi montré des niveaux plus élevés en bio **en métabolites secondaires et vitamines** dans les fruits et légumes, ainsi qu'une **teneur plus élevée en acides phénoliques et en composés phénoliques totaux**. En revanche, pour la **teneur en flavones et en flavonols**, les **différences entre les deux modes de production étaient hétérogènes**, tandis que pour la **teneur en carotènes**, aucune différence significative n'a été observée. Barański et al. (2014) ont analysé 343 articles scientifiques et ont montré que les aliments végétaux biologiques, globalement ou pour certains groupes spécifiques (légumes, fruits, céréales) contiennent **davantage d'antioxydants** (entre + 19 et + 86 %).

Brantsaeter et al. (2017) et Yu et al. (2018) confirment les tendances : les fruits et légumes biologiques ont des **concentrations plus élevées de matière sèche**, de minéraux (p. ex. fer, magnésium, phosphore et zinc), de **vitamine C** et d'autres **composés bioactifs tels que les caroténoïdes et les tocophérols**. De plus, dans certains cas les fruits et légumes issus de l'agriculture biologique présentent des concentrations plus élevées de certains métabolites végétaux secondaires naturels, comme les **phénols** et les **flavonoïdes**, dont certains sont des agents de défense naturels pour les végétaux et peuvent également être importants pour la santé humaine. Pour les céréales, Brantsaeter et al. (2017) relèvent des **concentrations plus faibles de protéines et d'acides aminés** dans les cultures biologiques que dans les cultures conventionnelles, ce qui est en lien avec un apport plus faible d'azote en bio.

Le rapport de Sautereau et Benoît de 2016 avait conclu à une teneur en anti-oxydants plus élevée des produits végétaux biologiques.

La méta-analyse de Bransaeter et al (2017) a confirmé cet intérêt nutritionnel, et conclu également à des concentrations plus élevées en certains composés bénéfiques à la santé humaine tels que minéraux, vitamine C, tocophérols, caroténoïdes, phénols et flavonoïdes.

Les polyphénols, et en particulier les flavonoïdes, ont été associés à un **risque plus faible de diabète sucré de type 2** (Guo et al., 2019), ce qui pourrait s'expliquer par les propriétés antioxydantes des flavonoïdes ainsi que par leur influence potentielle sur l'activation des récepteurs de l'insuline qui améliore la sensibilité à l'insuline et l'absorption du glucose (Vinayagam et al., 2015 ; Guo et al., 2019). L'apport d'antioxydants et de composés phénoliques provenant de l'alimentation joue un rôle important car il a été démontré que ces composés réduisent efficacement le risque de maladies chroniques, y compris certaines maladies neurodégénératives et cardiovasculaires et des cancers (Baranski et al., 2017).

Bien qu'il y ait des divergences entre certains des résultats, ces différentes études conviennent généralement qu'il existe des différences de composition principalement en faveur des aliments biologiques d'origine végétale.

Il convient cependant de rappeler que ces différences de composition ne sont pas nécessairement corrélées à ce qui est effectivement métabolisé par les consommateurs (ceci dépendant de multiples facteurs dont la biodisponibilité). Un lien direct entre ces différentiels de composition des aliments bio/non bio et l'impact sur la santé humaine ne peut donc pas être établi, ni quantifié précisément.

II.2.A.2) Produits animaux

Lait

Dans une synthèse de 170 études, Średnicka-Tober et al. (2016b) mentionnait que les laits biologiques contiennent des niveaux significativement plus élevés d'acides gras polyinsaturés totaux (+ 7 %) et d'acide linoléique conjugué (+41 %) ou d'acides gras polyinsaturés n-3 totaux (+ 56 %), avec une teneur en acide linoléique conjugué (+41 %) avec une teneur plus élevée en acide alpha-linolénique (+ 69 %) et en EPA, DPA et DHA à longue chaîne (+57 %). L'étude montrait également que le lait biologique contient des quantités 13 % supérieures en vitamine E et en fer (+ 20 %), mais moins d'iode (- 74 %) et de sélénium (- 21 %). La plupart des différences identifiées sont liées à l'alimentation des ruminants basée sur les fourrages dans les élevages en AB. Les teneurs plus faibles en iode et en sélénium seraient dues à une moindre utilisation de compléments minéraux. Le rapport oméga 6 / oméga 3 plus faible dans le lait bio, lié à la proportion plus importante d'herbe et de fourrages, est favorable au lait biologique. La quantité d'oméga 6 dans l'alimentation occidentale est trop élevée, ce qui peut avoir des incidences négatives contribuant aux maladies cardiovasculaires, aux maladies inflammatoires et auto-immunes ainsi qu'au cancer.

Les études incluses dans la méta-analyse de Średnicka-Tober et al. (2016b) font toutefois état d'une hétérogénéité dans les résultats, ce que les auteurs expliquent par la grande diversité des pratiques agricoles dans les systèmes agricoles biologiques et conventionnels. En effet, **le lait conventionnel issu de systèmes d'élevage extensifs basés sur les prairies tend à se rapprocher voire à être nutritionnellement équivalent au lait bio**, comme étudié par Schwendel et al (2015).

Des études plus récentes (Joubran et al., 2021, Manuelian et al. 2022) confirment que le lait biologique a des teneurs plus élevées en AGPI, en oméga-3 et en vitamine E (Brodziak et al., 2018). Manuelian et al. confirment l'association de ces différences de composition nutritionnelle aux conditions associées à la production biologique, telles que la race, l'environnement, l'état de santé et le régime alimentaire. Linehan et al. (2024) ont récemment publié une revue critique qui conclut à la nécessité de réaliser d'une part des études complémentaires pour évaluer les avantages nutritionnels du lait biologique avec l'apport alimentaire recommandé en produits laitiers, et d'autre part des études pour comprendre les effets probiotiques supplémentaires du lait biologique.

La qualité améliorée du profil en acides gras – et plus particulièrement le ratio oméga 3/oméga 6 – apporte un intérêt nutritionnel au lait bio par rapport au lait conventionnel. La qualité de l'alimentation des vaches, liée à la part d'herbe et de fourrages dans l'alimentation impacte favorablement la composition en acides gras du lait (Joubran et al., 2021, Manuelian et al., 2022).

Viandes

Dans la première méta-analyse portant sur la viande, Średnicka-Tober et al. (2016a) ont montré (synthèse de 67 études) que les **viandes biologiques contiennent des niveaux significativement plus élevés en AGPI totaux (+23 %) ou en oméga-3 (+ 47 %)**. L'amplitude des différences a été trouvée par ordre décroissant dans le bœuf, la volaille, le porc et le mouton. Ces différences ont été interprétées comme les conséquences de régimes alimentaires à base d'herbe : la **viande biologique semble être plus adaptée au maintien des apports souhaitables en AGPI recommandés** et notamment en acides gras oméga-3. Les auteurs ont toutefois conclu que les données disponibles étaient trop limitées pour permettre une méta-analyse très significative.

Les auteurs (Średnicka-Tober et al., 2016a) indiquent que le **poulet biologique** a des teneurs plus élevées en AGPI (+40 %), oméga 3 (+66 %), oméga 6 (+ 50 %) et acides gras insaturés (+ 10 %), et des teneurs moins élevées en acides gras saturés (- 65 %). Ils expliquent ces différences par l'élevage de races à faible taux de croissance et plus actives en bio, et l'élevage à faible densité avec un accès à l'extérieur qui favorise l'activité et limite la teneur en matières grasses totales de la chair. Smith-Spangler et al. (2012) avaient également relevé des teneurs en oméga 3 plus élevées pour le poulet biologique par rapport au conventionnel, bien que les auteurs soulignent l'hétérogénéité des données et rappellent que les résultats doivent être interprétés avec prudence.

Pour le **porc**, Średnicka-Tober et al. (2016a) ont relevé des teneurs en acides gras monoinsaturés proportionnellement plus faibles et des teneurs en AGPI plus élevées en bio, mais n'ont pu conclure pour les oméga-3 du fait d'un trop faible nombre d'études. Ils ont expliqué les différences constatées par le fait que les normes biologiques pour les monogastriques prescrivent un accès aux fourrages, ce qui augmente la proportion d'AGPI. La récente méta-analyse de Zybert et al. (2023) confirme que la viande de porc biologique a une teneur en gras intramusculaire significativement plus élevée, une teneur légèrement plus faible en acides gras saturés (- 3.9 %), et une teneur plus élevée en AGPI totaux (+ 11.6 %), oméga-3 (+ 35.9 %) et oméga-6 (+10.9 %) que la viande issue d'une production conventionnelle. Le **mode d'élevage biologique modifie le profil en acide gras de la viande de porc, tout comme la race ou les conditions de logement des animaux**.

Ribas-Agusti et al. (2019) ont étudié la composition nutritionnelle de la **viande de bœuf** biologique et conventionnelle, et pour la première fois les teneurs en composés bioactifs coenzyme Q₁₀, carnosine, anserine, créatine et taurine dans deux types de muscle. Le bœuf biologique contenait 17 % moins de cholestérol, 32 % moins de matières grasses, 16 % moins d'acides gras, 24 % moins d'acides gras monoinsaturés, 170 % plus d'acide α -linolénique, 24 % plus de α -tocophérol (vitamine E), 53 % plus de β -carotène, 34 % plus de coenzyme Q₁₀ et 72 % plus de taurine que le bœuf conventionnel. Les différences dépendent du type de muscle. Les

auteurs concluent que la viande de bœuf biologique a une valeur nutritive plus élevée que la viande de bœuf conventionnel avec une teneur en lipides et en composés bioactifs mieux équilibrée.

Quelle que soit l'espèce considérée, les différences nutritionnelles observées portent essentiellement sur la qualité des profils en acides gras et s'expliquent par une alimentation plus riche en herbe et fourrage, d'où la valeur nutritionnelle supérieure des viandes bio. Ces données, déjà reportées dans Sautereau et Benoît (2016), sont confirmées pour la viande de porc par la récente méta-analyse de Zybert et al. (2023) et par Ribas-Augusti et al. (2019) pour la viande de bœuf, qui montrent également une teneur nutritionnelle améliorée en composés bioactifs (tels que vitamine E, β -carotène, coenzyme Q₁₀ et taurine).

Œufs

Il n'existe pas de méta-analyse ou de revue bibliographique sur les qualités nutritionnelles des œufs en fonction du mode d'élevage bio ou conventionnel des poules pondeuses. Elles ont néanmoins fait l'objet de plusieurs études scientifiques.

Samman et al. (2009) ont rapporté des variations significatives entre les œufs conventionnels et les œufs biologiques en ce qui concerne la proportion de jaune d'œuf et de la teneur en matière grasse du jaune d'œuf. Peu de différences dans la composition des acides gras ont été constatées. Toutefois, les auteurs montrent que le jaune d'œuf biologique présente un ratio plus élevé en acides stéarique et palmitique par rapport au conventionnel. Aucune différence significative n'a été observée pour les teneurs en acides gras polyinsaturés ou monoinsaturés. Les auteurs soulignent qu'il est peu probable que les faibles différences observées dans cette étude puissent avoir un impact métabolique significatif sur le consommateur.

Mugnai et al. (2014) ont montré que le jaune des œufs biologiques a des concentrations plus élevées en oméga-3, et des concentrations plus faibles en oméga-6, ce qui se traduit par un rapport oméga-6 / oméga-3 plus faible (entre 8,6 à 11,5 et de 1,9 à 3,6 selon la saison). Ils trouvaient également des teneurs plus élevées en alpha-tocophérol, en flavonoïdes et en caroténoïdes, qui sont tous des antioxydants. Les auteurs ont par ailleurs montré que l'ingestion d'herbe par les poules pondeuses augmente la teneur en oméga 3 et diminue la teneur en oméga 6. Cette étude montre également que l'ingestion d'herbe est largement influencée par le système d'élevage, et met en évidence l'effet saisonnier de la disponibilité de l'herbe sur la qualité nutritionnelle des œufs produits dans des systèmes biologiques.

La teneur en acides gras de l'alimentation, et par conséquent l'accès au pâturage, constitue un déterminant fort de la composition en acides gras de l'œuf. Mie et al. (2017) concluent qu'une teneur en oméga 3 plus élevée dans les œufs biologiques semble plausible, mais qu'elle reste aujourd'hui mal documentée, du fait de l'absence de méta-analyses.

Poisson

Tout comme pour les œufs, il n'y a pas à notre connaissance de méta-analyse existant sur les qualités nutritionnelles des poissons d'élevage selon leur mode de production biologique ou conventionnel. Le poisson est perçu comme étant un aliment d'intérêt nutritionnel pour la qualité de ses protéines et l'apport intéressant en oméga-3 pour les poissons gras. L'ANSES précise que la consommation de produits de la mer est indispensable pour la couverture des besoins en DHA (ANSES, 2011). Toutefois, l'alimentation des poissons d'élevage – et plus particulièrement des poissons carnivores tels que le saumon – a beaucoup évolué ces dernières années : la part des composants d'origine agricole a beaucoup augmenté, ce qui n'est probablement pas sans impact sur la valeur nutritionnelle de la chair des poissons d'élevage. Aas et al. (2016) estiment en effet que la part d'ingrédients marins est passée de 90 % à 30 % entre 1990 et 2016 pour les saumons. **Le règlement**

bio impose un minimum de 40 % d'ingrédients d'origine marine dans l'alimentation des salmonidés, afin de respecter au mieux leur régime naturel.

L'étude de Esaïassen et al. (2022) montre que le saumon d'élevage biologique a une teneur en lipides inférieure et une teneur en protéines supérieure à celles du saumon d'élevage conventionnel. Les auteurs précisent que la teneur en lipides des poissons d'élevage a eu tendance à augmenter au cours des dernières décennies. L'étude montre que le saumon biologique contient plus d'oméga-3 à chaîne longue, tandis que le contenu en acide linoléique, acide alpha-linolénique – acides gras qui se trouvent en faibles quantités dans les organismes marins- sont plus élevés chez le saumon conventionnel. Le rapport oméga-6/oméga-3 est également favorable au saumon biologique.

L'étude menée par Di Marco et al. (2017) porte quant à elle sur les bars et les daurades d'élevage. Les auteurs concluent que « les poissons biologiques ont montré une meilleure performance de croissance compatible avec le taux de conversion alimentaire plus faible et un statut métabolique plus élevé, comme en témoignent les profils protéiques et énergétiques. Ils indiquent toutefois une composition en acides gras « plus pauvre en oméga-3 et plus riche en acide linoléique dans le poisson bio, reflétant le profil en acides gras de l'alimentation ». Trocino et al. (2012) montrent que **« le rapport oméga-3/oméga-6 des AGPI était plus élevé dans les poissons biologiques que dans les poissons conventionnels (1,60 contre 0,54) »**.

Les études soulignent le lien entre la qualité de l'alimentation des poissons, plus qualitative et proche du régime alimentaire naturel en bio, et la qualité de la composition nutritionnelle du poisson pour la santé humaine. En l'absence de méta-analyses, ces résultats restent toutefois à confirmer.

En résumé : les produits d'origine animale

Les conclusions du rapport de 2016 sont confirmées par les dernières études (Brodziak et al., 2018 ; Manuelian et al., 2022, Ribas-Augusti et al., 2019 ; Prache et al., 2020 ; Zybert et al., 2023) : l'intérêt nutritionnel des produits biologiques d'origine animale réside essentiellement dans l'amélioration du profil en acides gras (AG), et en la teneur plus élevée en oméga-3 et à l'amélioration des rapports oméga-6/oméga-3. Le profil et la teneur en AG varie en fonction de l'espèce et de l'alimentation des animaux. La part de la pâture joue un rôle important dans l'amélioration des profils en AG des produits d'origine animale (Joubran et al., 2021), d'autant plus chez les ruminants. En effet, le pâturage, pratique habituelle en élevage biologique (Hennessy et al., 2020), serait la principale raison de l'amélioration de la qualité du profil en AG du lait, de la viande et des œufs.

Prache et al. (2020) rappellent que « la teneur en lipides et la composition en AG des lipides des produits animaux bruts varient beaucoup selon l'alimentation des animaux. Il en est de même pour la teneur et la composition en minéraux et vitamines. La viande, le lait et les œufs des animaux élevés « à l'herbe » sont généralement plus riches en vitamines minéraux et AGPI n-3, et ce d'autant plus que les animaux ont accès à une flore diversifiée (prairies naturelles). Les suppléments apportés aux animaux dans les aliments industriels peuvent également enrichir significativement les profils en micronutriments des produits animaux. Le cas du lait est singulier car sa teneur en matières grasses (et en matières protéiques pour les fromages) est standardisée avant consommation, pour toutes les espèces.

Les conditions d'élevage en bio apparaissent donc comme globalement plus favorables à une amélioration de la qualité nutritionnelle des produits.

Des méta-analyses sont nécessaires pour pouvoir affirmer les intérêts nutritionnels des œufs et poissons bio, essentiellement liés à l'amélioration du profil en acides gras.

Au cours des dernières décennies, la sélection des races à viande pour les animaux terrestres et des poissons a privilégié le développement de la masse musculaire des animaux au détriment des tissus gras. Le régime

alimentaire français et européen conduit à une insuffisance en oméga-3, aussi la composition des produits biologiques d'origine animale est-elle intéressante au regard de ses apports plus élevés en oméga-3.

En résumé : impacts sur la santé humaine de ces différences nutritionnelles

Les apports en certains composés nutritionnels bénéfiques à la santé humaine – tels que vitamines, composés anti-oxydants, AGPI dont oméga-3 - peuvent être améliorés par une consommation accrue de produits biologiques bruts (produits végétaux, lait, viandes, œufs et poissons) ou peu transformés (produits laitiers). Ainsi, les données disponibles suggèrent qu'il existe bien des différences de composition pertinentes sur le plan nutritionnel entre les cultures biologiques et conventionnelles et que, dans l'ensemble, les aliments végétaux biologiques contiennent des concentrations plus élevées de produits nutritionnellement souhaitables (composés phénoliques, autres antioxydants et/ou micronutriments minéraux).

En outre, Vigar et al. (2020) rappellent que « ce qui est susceptible d'être plus important que les différences de composition entre les deux [bio et conventionnel], c'est ce que les aliments biologiques ne contiennent pas. Il a été démontré que les aliments biologiques contiennent des niveaux plus faibles de métabolites toxiques, y compris des métaux lourds tels que le cadmium, et des résidus de pesticides » (voir paragraphe I.1.B Expositions liées à la fertilisation azotée et phosphatée, la question des métaux lourds).

II.2.B. Produits transformés

La transformation des produits alimentaires impacte la qualité nutritionnelle, que cela soit en industrie ou lors de la conservation et la préparation des repas : bien qu'ils puissent améliorer la digestibilité, les opérations de transformation, les modes de conservation ou de cuisson impactent plus ou moins négativement les qualités nutritionnelles des aliments (dénaturation des protéines ou acides gras insaturés et destruction de vitamines par la chaleur...). Les cuissons à haute température et la fumaison peuvent également être à l'origine de la formation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), d'amines hétérocycliques (AHC) et d'amines aromatiques (AHA), qui sont des composés néoformés nocifs. Toutefois, à procédé identique, il est peu probable d'obtenir des impacts différents sur des aliments transformés selon leur mode de production biologique ou conventionnel.

Il est cependant important de souligner que certaines pratiques de production et de transformation jouent un rôle important sur la qualité nutritionnelle des produits alimentaires. On peut citer par exemple le raffinage des farines qui permet de jouer sur le taux de minéraux. Les farines produites en bio sont souvent plus complètes qu'en conventionnel : en effet, la quasi-totalité des farines conventionnelles dédiées à la panification sont de type 55 ou 65 (98 % en 2010, d'après FranceAgriMer, 2012) alors que les farines biologiques sont en majorité de type 80 et 110 (67 % des utilisations en panification en 2010). Un type de farine élevé signifie que son taux de cendres (et donc sa teneur en minéraux, en fibres et en vitamines) est élevé. Comme l'indique Remesy (2008), "une des originalités de la filière bio est de panifier préférentiellement au levain naturel. L'utilisation du levain offre un avantage unique pour accroître la biodisponibilité des minéraux. Cependant, le déroulement de la panification n'est pas toujours optimal pour hydrater les fibres et détruire l'acide phytique. Il faut donc souligner l'importance de l'hydratation de la pâte et du temps de fermentation mais aussi l'intérêt de pratiquer la préfermentation de fractions riches en fibres."

Les impacts sur la santé des produits alimentaires transformés peuvent être abordés par différentes approches : par la composition nutritionnelle (macro et micronutriments, teneur en sucre/sel/matières grasses), par des classifications visant à **évaluer la qualité nutritionnelle (Nutriscore) ou le degré de transformation**

(Nova, Siga, par exemple, comme vu au I.2.A.4) Prise en compte de la présence d'additifs par l'approche de l'ultra-transformation.

II.2.B.1) Mode de production et qualité nutritionnelle

Seules quelques études se sont penchées sur les liens entre mode de production – biologique ou conventionnel –, et les propriétés nutritionnelles des produits transformés. Dall'Asta et al. (2020) et Roperio et al. (2023) ont étudié les qualités nutritionnelles de, respectivement, 9 familles de produits préemballés en Italie et 6 types d'aliments en Espagne, sur la base des informations obligatoires présentes sur les emballages. Dall'Astr et al. n'ont étudié que des produits d'une même marque pour lesquels une version bio et une version non bio existent, ce qui exclut de fait toutes les marques spécialistes du bio, et soulève la question d'un biais d'échantillonnage impactant la représentativité des produits bio étudiés.

Les deux études montrent parfois des différences positives dans les valeurs nutritionnelles entre produits bio et non bio, mais les deux concluent toutefois que la certification biologique ne peut pas être considérée comme une indication de meilleure qualité nutritionnelle globale. A noter également que les deux études, se limitant aux données nutritionnelles obligatoires, n'incluent pas des composants nutritionnels d'intérêt pour la santé humaine, tels que fibres chez Dall'Asta et al. (2020), vitamines, composés bioactifs et minéraux.

Meadows et al. (2021) ont analysé des produits emballés vendus aux Etats-Unis entre 2019 et 2020. Sur un échantillonnage large de 8 240 produits biologiques et 72 205 produits conventionnels, les auteurs constatent que les aliments biologiques, **toutes familles confondues, ont une teneur plus faible en sucre total, en sucre ajouté, en acides gras saturés et en sodium** (voir Tableau 4). Les analyses réalisées sur 51 familles de produits différentes sont présentées dans cette publication.

Caractéristiques nutritionnelles des produits biologiques et conventionnels par portion de 100 g pour 8240 produits biologiques et 72 205 produits conventionnels.

	Produits biologiques, moyennes arithmétiques et écarts-types		Produits conventionnels, moyennes arithmétiques et écarts-types	
	Produits dont la valeur nutritive est indiquée *	Tous les produits #	Produits dont la valeur nutritive est indiquée *	Tous les produits #
Calories par 100 g	202 (181)	202 (181)	265 (169)	265 (169)
Sucre total (g/100 g)	11.4 (15.0)	11.3 (14.9)	16.5 (20.5)	16.4 (20.4)
Sucre d'addition (g/100 g)	7.3 (13.3)	7.2 (12.6)	14.2 (20.8)	13.5 (19.7)
Gras saturés (g/100 g)	3.0 (6.3)	2.7 (5.9)	4.6 (6.2)	4.1 (5.9)
Sodium (mg/100 g)	273 (507)	273 (506)	470 (773)	469 (772)
Potassium (mg/100 g)	230 (500)	239 (392)	225 (335)	232 (244)

* Seuls les produits dont la valeur est indiquée pour l'élément nutritif spécifique sont inclus dans le calcul des valeurs moyennes dans cette colonne. « Tous les produits » comprenait les produits pour lesquels des données manquantes étaient imputées. #

Tableau 7 : Résultats de Meadows et al. (2021) ayant analysé des produits emballés vendus aux Etats-Unis entre 2019 et 2020 sur un échantillonnage large de 8 240 produits biologiques et 72 205 produits conventionnels.

Comme dans les deux études précédemment citées, les données nutritionnelles se limitant aux données obligatoires présentes sur les étiquetages, nous pouvons regretter de ne pas avoir d'informations sur les micronutriments et les profils en acides gras. Par ailleurs, cette étude de Meadows et al. souligne l'importance de prendre en compte des paramètres de transformation et d'hyper-appétence [liée à l'usage des additifs définis comme « cosmétiques » dans cette étude] en plus de la qualité nutritionnelle pour évaluer les qualités des aliments emballés et transformés selon le mode biologique.

Au-delà de la meilleure qualité nutritionnelle des produits emballés biologiques, Meadows et al. (2021) ont également montré que les aliments biologiques contiennent moins de MUT (voir Focus ultra-transformation) et d'additifs dits « cosmétiques ». Ces caractéristiques sont d'une grande importance dans la mesure où une consommation plus faible d'AUT, de sucre ajouté, de sodium et d'acides gras trans est associée à des effets bénéfiques en matière de santé.

II.2.B.2) Evaluation de la qualité nutritionnelle par le Nutriscore

Une extraction a été effectuée en novembre 2023 sur la base de données Open Food Facts. Le Nutriscore de 32 563 produits bio du marché français et 341 531 produits non bio a été relevé (NB : les produits pour lesquels le Nutriscore était inconnu ou non applicable n'ont pas été pris en compte). La répartition des produits bio et conventionnels selon leur Nutriscore diffère notablement (Figure 11). Les produits avec Nutriscore A ou B représentent 41.4 % des produits bio alors qu'ils ne représentent que 26.3 % des produits conventionnels ; les produits avec Nutriscore D ou E représentent 36.1 % des produits bio contre 52.3 % des produits conventionnels. Ainsi, sur la base du Nutriscore, les produits transformés bio du marché français paraissent de meilleure qualité nutritionnelle que les produits conventionnels.

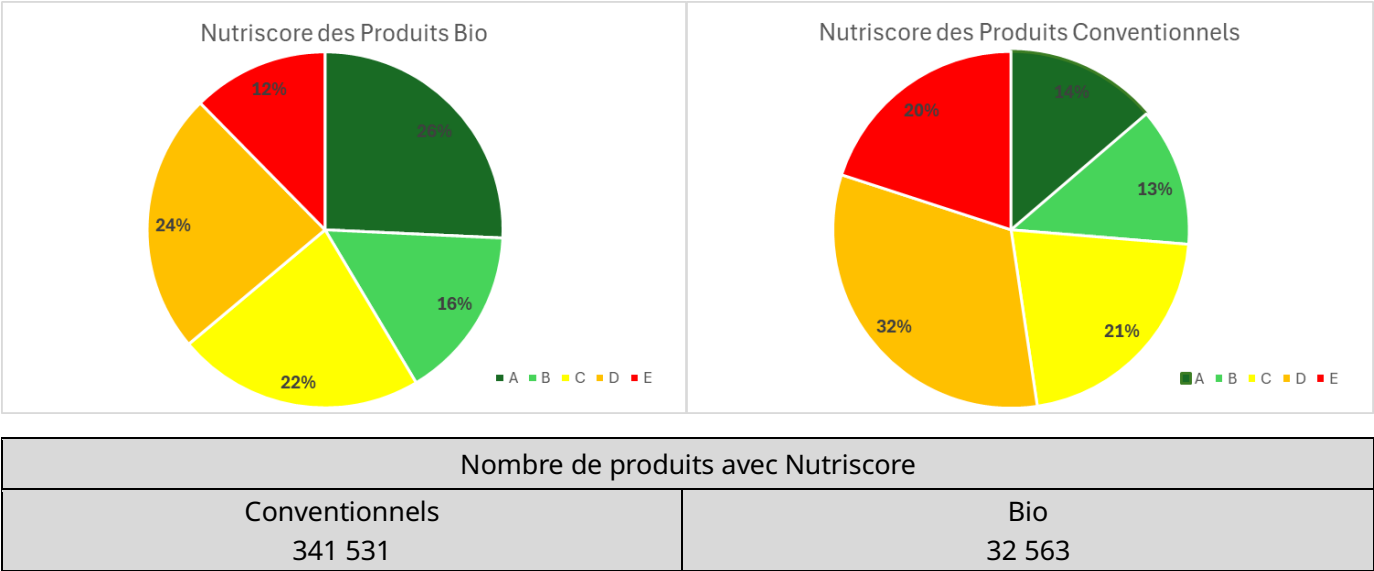


Figure 9 : Répartition des produits biologiques et conventionnels selon leurs Nutriscore

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Richonnet et al (2022) dans son étude portant sur 1155 produits alimentaires destinés aux enfants. On peut noter que comme dans la base Open Food Facts, **plus de 40 % des aliments bio sont en catégorie A et B** tandis que **plus de 70 % de l'offre conventionnelle se situe dans les classes C, D et E du Nutriscore**.

	Total		Hypermarchés et supermarchés + chaînes de vente au détail HD		Magasins d'aliments biologiques	
	# de produits	% du total	# de produits	% du total	# de produits	% du total
Nutri-Score A	141	12.24%	95	9.27%	46	36.22%
Nutri-Score B	142	12.33%	132	12.88%	10	7.87%
Nutri-Score C	193	16.75%	172	16.78%	21	16.54%
Nutri-Score D	453	39.32%	423	41.27%	30	23.62%
Nutri-Score E	223	19.36%	203	19.80%	20	15.75%
TOTAL	1152		1025		127	

Tableau 8 : Répartition du groupe Nutriscore et par type de magasin

II.2.B.3) Les aliments ultra-transformés (AUT)

Aux Etats-Unis, l'étude transversale de Baldrige (2019) indique que 71 % des produits alimentaires disponibles sur le marché américain sont classés comme étant ultra-transformés. Poti et al. (2015) et Baraldi et al. (2018) avaient estimé qu'en 2012 environ 60 % des calories consommées par les Américains étaient issues d'aliments et boissons ultra-transformés.

En Europe, Slimani et al. (2009) avaient rapporté que les AUT contribuaient à 61 % des apports énergétiques en Espagne, 78 % aux Pays-Bas, 79 % en Allemagne, sur la base des entretiens réalisés dans l'enquête prospective européenne sur le cancer et la nutrition (cohorte EPIC) menée dans 10 pays européens. En France, la cohorte NutriNet-Santé a permis d'estimer la part des AUT dans l'apport calorique quotidien supérieur à 30 % (Julia et al., 2018) : bien en-dessous de certains de nos voisins européens, cela dépasse néanmoins largement les recommandations de 15 % maximum. Srouf et al. (2019) montrent ainsi que les groupes d'aliments contribuant le plus à l'apport en AUT - (%) en masse - étaient les produits sucrés (28 %), boissons sucrées (16 %), fruits et légumes ultra-transformés (18 %) et féculents et céréales de petit-déjeuner (12 %).

Les produits ultra-transformés constituent environ 30 % de l'apport calorique des Français (Julia et al., 2018). De nombreuses études ont démontré l'impact négatif sur la santé de la consommation trop importante de ces produits alimentaires, sur un ensemble de maladies non transmissibles dont l'obésité, le diabète, des cancers (Fiolet et al., 2018 ; Isaksen et al., 2023) ou les maladies cardiovasculaires (Lane et al., 2024).

Focus Ultra-Transformation

Les aliments ultra-transformés : un fléau pour la santé publique ?

L'augmentation des maladies non transmissibles (MNT) est un sujet de préoccupation majeure en matière de santé publique. Cette croissance a été mise en parallèle avec les changements importants d'habitudes alimentaires observés depuis le XXe siècle, et notamment avec la part croissante des produits alimentaires transformés dans le régime alimentaire (Moubarac et al., 2014 ; Monteiro et al., 2010). Une méta-analyse menée en 2020 (Lane et al., 2021) sur une quarantaine d'études observationnelles (21 études transversales, 19 études prospectives, deux études cas-témoins et une étude prospective et transversale) établit que la consommation d'aliments ultra-transformés (AUT) est associée à un risque accru de surpoids, d'obésité, d'obésité abdominale, de mortalité toutes causes confondues, de syndrome métabolique et de dépression chez les adultes. En France, l'étude Nutri-Net Santé (Julia et al., 2018) a également confirmé l'association entre la consommation de produits ultra-transformés et le risque de développer des maladies chroniques.

De plus, l'étude de Louzada et al. (2015) établit que 2 portions quotidiennes d'AUT, soit 15 % de l'apport calorique journalier génère un surrisque de développement de maladies chroniques. Elle trouve également qu'à partir de 4 portions quotidiennes d'AUT, le risque de mortalité – toutes causes confondues – augmente de 62 %.

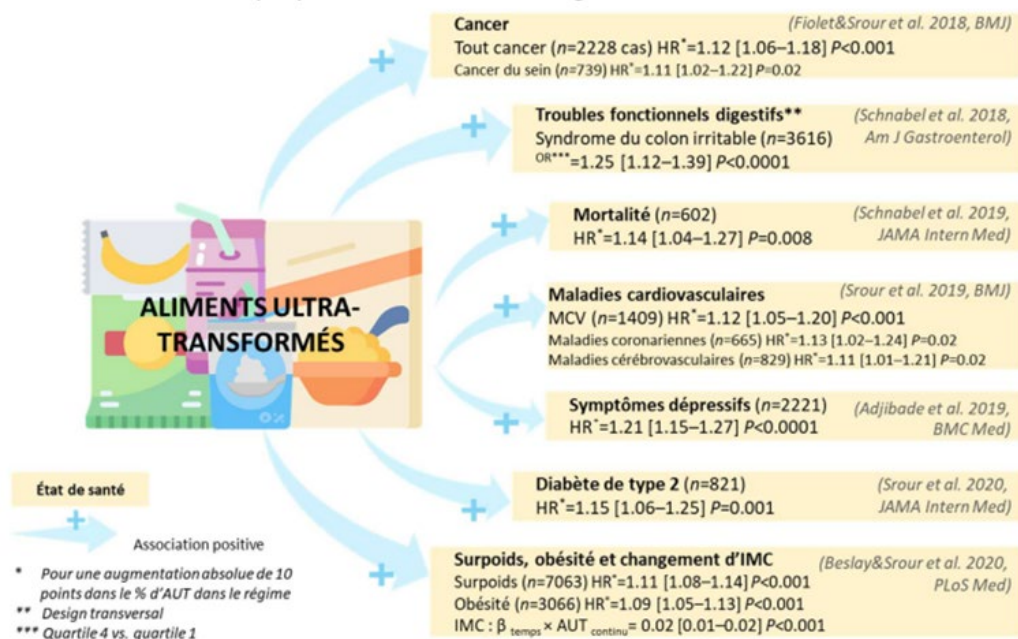
De façon générale, **les AUT sont considérés comme étant nutritionnellement de moins bonne qualité** (Gupta et al., 2019 ; Guasch-Ferré et al., 2019 ; Cornwell et al., 2018 ; Martini et al. 2021). De nombreuses études menées dans le monde montrent que plus les aliments sont ultra-transformés, plus ils contiennent d'acides gras trans (Moubarac et al., 2014 ; Cornwell et al., 2018 ; Louzada et al. 2015) , de matières grasses ajoutées (Poti et al. 2015 ; Moubarac et al., 2017 ; Monteiro et al., 2019), de sodium (Louzada et al., 2018 ; Monteiro et al., 2019 ; Poti et al., 2017). Les AUT ont une densité énergétique plus importante (Cornwell et al., 2018 ; Poti et al. 2017 ; Luiten et al., 2016) et sont associés à des apports nutritionnels déséquilibrés (Julia et al., 2018). Par ailleurs, les procédés de transformation peuvent dégrader la structure et les caractéristiques de l'aliment d'origine, ce qui est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé humaine (Fardet, 2017 ; Birlouez-Aragon et al., 2010).

L'étude de cohorte NutriNet-Santé (Fiolet et al., 2018) conclut à une association de la consommation d'AUT à un risque global de cancer plus élevé et de cancer du sein plus élevé, à un risque plus élevé de diabète de type 2 (Srouf et al., 2020), ainsi qu'à un gain d'IMC et à risque plus élevé de surpoids et d'obésité (Beslay et al., 2020). La revue systématique de Isaksen et al. (2023) confirme une association entre l'apport d'AUT et le risque de cancer global et de plusieurs cancers (colorectal, cancer du sein et du pancréas). Lane et al. (2024), sur la base d'un examen systématique de 45 méta-analyses conduites entre 2009 et 2023, concluent qu'une plus grande exposition aux aliments ultra-transformés était associée à un **risque plus élevé** de i) **maladies chroniques**, en particulier les maladies cardiométaboliques, et les troubles mentaux courants et ii) **de mortalité**". Une analyse groupée de 7 cohortes a également trouvé qu'une augmentation de 10 % de la consommation d'aliments ultra-transformés était associée à une incidence plus élevée du diabète de type 2 de 12 %.

Ces données sur l'impact des aliments ultra-transformés sur la santé humaine constituent un défi pour les politiques de santé publique. Plusieurs pays (dont le Brésil, le Canada et le Mexique) recommandent d'ores et déjà de limiter la consommation d'AUT. En France, le PNSS 4 le recommande aussi et souhaite « inciter à l'amélioration des pratiques industrielles en s'appuyant sur les résultats de la recherche sur les aliments transformés et ultra-transformés ».

Illustration issue de Debras et al. (2022c)

Associations entre la proportion d'AUT dans le régime alimentaire et ...



HR (Hazard Ratio) : risque augmenté quand supérieur à 1 (ex 1.25, veut dire 25 % de risque supplémentaire)

En résumé : les produits transformés bio semblent de meilleure qualité nutritionnelle (Dall'Asta et al., 2019 ; Roperio et al., 2023) : ils sont globalement moins salés, moins gras et contiennent moins de sucres ajoutés (Meadows et al., 2021). Il est important de noter que les aliments biologiques ont moins d'ingrédients avec des marqueurs d'ultra-transformation et d'additifs "cosmétiques", ce qui peut avoir des effets bénéfiques sur la santé publique en réduisant la consommation d'aliments ultra-transformés, de sucre ajouté, de sodium et d'acides gras trans (Meadows et al., 2021).

De plus, les produits biologiques français obtiennent de meilleurs Nutriscore que les produits conventionnels : plus de 40 % des aliments bio sont en catégorie A et B alors que plus de 70 % de l'offre conventionnelle est classée C, D et E.

II.2.C. Différences de composition nutritionnelle et impacts sur la santé humaine

La nutrition est un sujet complexe, mais, comme évoqué dans le PNNS 4, « les facteurs nutritionnels sont des déterminants sur lesquels il est possible d'agir au niveau individuel ou sociétal » : en ce sens, le PNNS donne ainsi des recommandations pour une alimentation plus saine, et donne comme objectif « d'augmenter la consommation de produits bio dans la population de sorte que 100 % de la population consomment au moins 20 % de leurs consommations de fruits et légumes, produits céréaliers et légumineuses issues de produits BIO par semaine ».

Une alimentation plus riche en nutriments potentiellement anti-inflammatoires et/ou antioxydants, tels que les polyphénols, aurait un effet de synergie pour moduler et réduire les risques de maladies associés à l'exposition aux polluants toxiques dans l'environnement et notre alimentation (Hoffman. et al, 2017). Toutefois, bien que les composés phénoliques et les oméga 3 soient réputés avoir des effets protecteurs contre certaines maladies chroniques chez l'homme, il est difficile à l'heure actuelle de traduire ces différences en avantages spécifiques pour la santé procurés par les cultures biologiques.

Brantsaeter et al. (2017) soulignent qu'il n'est pas si clair **que les différences de composition nutritionnelle observées soient pertinentes à l'échelle de la santé humaine**. L'intérêt nutritionnel des aliments biologiques ne réside pas dans les quelques différences nutritionnelles avec les produits conventionnels au niveau des macronutriments (Cintra et al., 2018), mais dans les apports améliorés en certains micronutriments bénéfiques pour la santé humaine. Jacobs et al. (2013) rappellent par ailleurs que se concentrer sur des nutriments pris un à un peut être d'une valeur limitée pour évaluer l'impact d'un aliment ou d'un régime alimentaire sur la santé : **les études des impacts réels sur la santé humaine apportent plus d'informations que les études sur les nutriments nutritifs isolés**. Ainsi, une approche réductionniste de la nutrition ne permet pas d'appréhender l'ensemble des impacts sur la santé humaine de notre alimentation : il est nécessaire de considérer l'ensemble du régime alimentaire, et des autres éléments de l'exposome, pour établir un lien multi-causal entre alimentation biologique et santé humaine.

Enfin, Rempelos et al. (2021) soulignent que « bien que la consommation d'aliments biologiques ait été liée à des effets positifs sur la santé dans les études observationnelles, une limite importante des données probantes actuellement disponibles est que : des essais cliniques contrôlés visant à confirmer et à fournir une compréhension mécaniste des effets positifs sur la santé de la consommation d'aliments biologiques, signalés dans les études observationnelles, n'ont pas encore été réalisées ». L'impact sur la santé des bénéfices des produits biologiques doit se mesurer à l'échelle du régime alimentaire.

En résumé

Les aliments biologiques présentent globalement une meilleure composition nutritionnelle comme synthétisé dans les dernières revues de littérature de Gomiero (2018, 2021) et Popa et al (2019). En ce qui concerne les qualités intrinsèques des aliments bio, les différentes méta-analyses et études bibliographiques passées en revue indiquent que :

- Les produits biologiques bruts présentent des teneurs en métabolites secondaires (anti-oxydants, composés phénoliques, vitamines) pour les produits d'origine végétale étudiés, et des teneurs supérieures en acides gras insaturés (notamment oméga 3) supérieures à celles des produits conventionnels pour les produits d'origine animale.

La qualité nutritionnelle des produits végétaux bio en micronutriments serait essentiellement liée aux pratiques agricoles, en particulier au stress en azote et en eau plus important en AB. Pour les produits animaux, ce sont les pratiques d'élevage en AB, principalement l'alimentation à base d'herbe, qui apparaissent comme globalement plus favorables à une amélioration de la qualité nutritionnelle (Hennessy et al., 2020). De nombreux facteurs (variétés végétales et races animales, zone géographique, conditions météorologiques, état du sol, fertilisation, degré de maturité à la récolte, ...) vont également influencer fortement la composition en micronutriments des produits agricoles. Vigar et al. (2020) indiquent que selon eux de nombreuses « innovations » introduites dans le cadre de l'intensification agricole ont eu des effets négatifs (...) sur la qualité nutritionnelle », ce que confirment Rempelos et al. (2021), pour les effets négatifs sur la composition nutritionnelle du lait et de la viande.

- Les produits biologiques transformés [vendus sur le marché américain, étude de Meadows et al. (2021)] ont une teneur plus faible en sucre total, en sucre ajouté, en acides gras saturés et en sodium.

La question d'un effort de formulation fait sur les produits biologiques peut ainsi être identifiée, ayant pour conséquence de limiter les ingrédients et additifs ultra-transformés par rapport aux produits conventionnels. Ces caractéristiques nutritionnelles sont également favorables. Une telle étude n'existe pas à l'heure actuelle, à notre connaissance, sur le marché français ou européen.

Il serait pertinent de mener une étude de grande ampleur sur les produits disponibles sur le marché français afin de comparer la qualité nutritionnelle, la qualité de la formulation (et la présence, le nombre et la fréquence d'usage des additifs) des produits bio et conventionnels, comme l'ont fait Meadows et al (2021) pour le marché américain.

Actuellement peu d'études sont disponibles permettant d'évaluer l'impact des produits bio transformés sur la santé. Des études d'exposition spécifique pourraient permettre d'évaluer à l'échelle du régime alimentaire les impacts potentiels des aliments bio consommés.

Les différences nutritionnelles observées entre produits bio et non bio se jouent à l'échelle des micronutriments : leurs impacts sur la santé humaine sont difficiles à appréhender (Brantsaeter et al., 2017).

En outre, certaines pratiques de transformation ont un effet important sur les qualités nutritionnelles des aliments comme c'est le cas par exemple du raffinage des céréales ou encore la panification au levain.

Pour mesurer l'impact des avantages nutritionnels des produits bio bruts ou transformés sur la santé humaine, il est nécessaire de se placer à l'échelle du régime alimentaire et non de l'aliment.

III. Régimes alimentaires biologiques et liens avec la santé : études épidémiologiques

III.1. Caractérisation des consommateurs de produits biologiques

Il existe différentes façons de caractériser une alimentation biologique. L'une d'elle consiste à segmenter la population en différents groupes en fonction de la fréquence de consommation d'aliments biologiques (Figure 12). De cette façon, il est possible de comparer les régimes alimentaires des différents groupes (structure des régimes selon l'équilibre produits végétaux / produits animaux ou produits bruts / produits transformés) mais également de comparer l'exposition de ces groupes à des substances pouvant entraîner un impact sur la santé (résidus de pesticides par exemple).

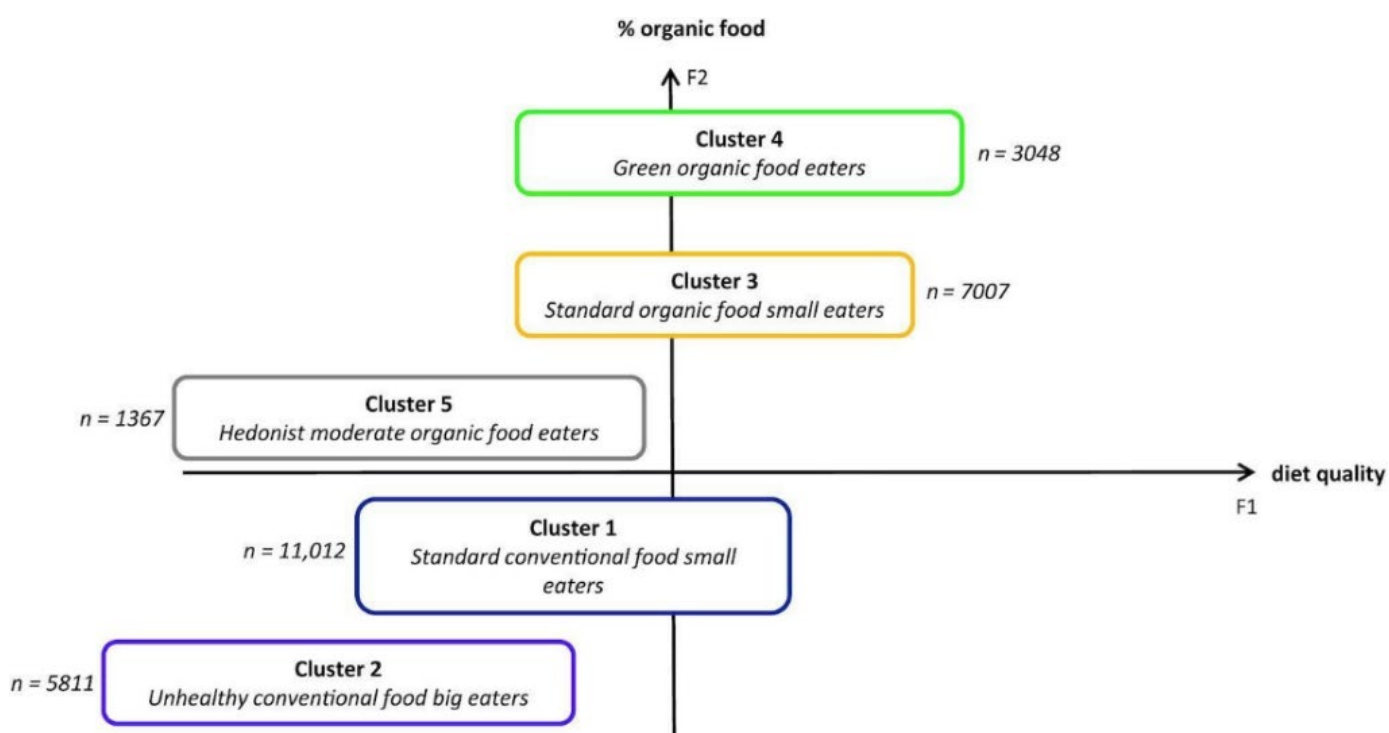


Figure 10 : Cartographie des groupes de consommateurs identifiés dans BioNutrinet

De nombreuses études caractérisent les consommateurs de produits biologiques (Kesse-Guyot et al. 2013 ; Pelletier et al. 2013 ; Petersen et al. 2013 ; Goetzke et al. 2014 ; Torjusen et al. 2014 ; Baudry et al. 2017 ; Kesse-Guyot et al, 2022). Sur le plan qualitatif, les forts consommateurs de produits bio présentent un régime alimentaire nutritionnellement plus sain (plus en adéquation avec les recommandations nutritionnelles nationales).

En France, dans le cadre de la cohorte NutriNet-Santé, les consommations d'aliments conventionnels et biologiques ont été évaluées à l'aide d'un questionnaire pour 28 245 adultes participants (Baudry et al. 2015). Moins de 12 % des répondants ont déclaré n'avoir jamais consommé d'aliments biologiques au cours de l'année écoulée. Les femmes ont consommé en moyenne 20 % d'aliments biologiques dans leur alimentation totale par jour, tandis que les hommes en ont consommé en moyenne 18 %. La proportion de légumes consommés qui

provenaient de sources biologiques était de 31 % chez les femmes et de 28 % chez les hommes. Dans l'ensemble, les forts consommateurs de bio (surtout si au moins la moitié des aliments en bio) ont un régime plus riche en produits végétaux que les non-consommateurs de produits biologiques. Les produits végétaux étant plus fortement contaminés en résidus de PPP que les aliments d'origine animale, la végétalisation de l'alimentation peut conduire à augmenter l'exposition des individus à ces résidus, sauf si on augmente la part des aliments végétaux bio (Baudry et al, 2019c).

Une étude ultérieure de Baudry et al. (2017) a notamment montré que la consommation d'aliments d'origine végétale augmentait en moyenne en même temps que la part des aliments biologiques dans l'alimentation, tandis qu'une tendance inverse a été identifiée pour les viandes et les viandes transformées, les produits laitiers, les biscuits, les fast-foods et les sodas.

Ces résultats ont été confirmés par la même équipe de recherche dans l'article de Seconda et al. (2017) et Baudry et al. (2019c).

Baudry et al. (2019b) ont également comparé les **taux plasmatiques** des forts consommateurs d'aliments biologiques et des consommateurs non-consommateurs de produits biologiques. Même si la relation entre des taux sanguins et des concentrations dans les aliments n'est pas directe et fait intervenir de nombreux autres facteurs, les résultats indiquent que les taux plasmatiques des grands consommateurs d'aliments bio sont supérieurs en magnésium, micronutriments liposolubles (α -carotène, β -carotène, lutéine et zéaxanthine), en certains acides gras (acides linoléique, palmitoléique, γ -linoléique et docosapentaénoïque) et certains indices de désaturation des acides gras. Par ailleurs dans cette étude, aucune différence sur les taux plasmatiques de fer, de cuivre, de cadmium, de lycopène, de β -cryptoxanthine et de vitamines A et E n'a été détectée.

Jiang et al. (2023) indiquent que l'association entre le niveau d'aliments bio dans le régime et les différents paramètres suivants a été évaluée comme :

- ▶ bénéfique par rapport aux biomarqueurs d'exposition aux pesticides, et aux acides phénoliques
- ▶ non corrélée pour les métaux toxiques et les caroténoïdes dans le plasma
- ▶ insuffisante pour le taux d'acide gras dans le lait maternel
- ▶ incohérente pour les paramètres sériques et les anti-oxydants

En résumé : les résultats des études sur les liens entre alimentation biologique et santé peuvent impliquer des différences intrinsèques entre le même type d'aliment en bio et en conventionnel ou être liés à la structure des régimes en fonction de la fréquence de consommation d'aliments bio nécessitant l'ajustement sur la qualité nutritionnelle du régime dans ces études.

Dans l'ensemble, les personnes qui consomment beaucoup d'aliments biologiques ont une alimentation nettement plus végétale et de meilleure qualité. Leurs apports nutritionnels sont plus en adéquation avec les recommandations nutritionnelles.

III.2. Liens avec les impacts sur le métabolisme humain

La première étude sur ce sujet a été publiée par des chercheurs français (Kesse-Guyot et al., 2013). Cette étude transversale avec la cohorte française NutriNet-Santé a comparé des niveaux de consommation d'aliments bio chez 54 000 femmes et hommes.

Des **réductions de probabilité de surpoids et d'obésité d'environ 40 % et 50 %** respectivement ont été observées pour les participants hommes et femmes ayant la plus forte consommation d'aliments bio comparée à « jamais » (d'aliments biologiques), après prise en compte de facteurs de confusion.

Dans la même cohorte, l'association prospective entre la fréquence de consommation d'aliments biologiques et la **variation de poids** a été étudiée, en analysant la fréquence de consommation d'aliments biologiques, les apports alimentaires et les données anthropométriques (Kesse-Guyot et al., 2017). Le suivi a duré environ 3 ans et une augmentation plus faible de l'IMC (indice de masse corporelle) a été observée lorsque le score de consommation biologique augmentait. Par ailleurs, une augmentation du score biologique était associée à un risque plus faible de surpoids (- 23 %) et d'obésité (- 31 %), parmi les participant.e.s non obèses et non en surpoids à l'inclusion.

Une étude de Baudry et al. (2018b) a étudié l'association transversale entre la consommation d'aliments biologiques et le **syndrome métabolique chez les adultes** français ayant des mesures disponibles (sang et pression artérielle) et une visite clinique dans le cadre de l'étude NutriNet-Santé. **Un syndrome métabolique** correspond à l'association de plusieurs troubles du métabolisme liés à la présence d'un excès de graisse au niveau de la taille ; c'est un facteur prédictif de maladies cardiovasculaires qui affecte 20 % de la population adulte.

Après ajustement des facteurs de confusion potentiels, une plus **grande consommation d'aliments biologiques a été associée négativement à la prévalence du syndrome métabolique (- 31 %)** Par ailleurs, une consommation plus élevée d'aliments biologiques d'origine végétale était également liée à une probabilité plus faible d'être atteint du syndrome métabolique et de la plupart de ses composantes (tour de taille, tension artérielle, cholestérol HDL, glycémie). Si on considère les facteurs liés au mode de vie (qualité nutritionnelle du régime alimentaire, tabagisme et activité physique), une association négative significative a été détectée dans chaque sous-groupe, sauf chez les fumeurs.

Dans l'étude française transversale INCA3, l'association transversale de la consommation d'aliments biologiques avec l'IMC et l'**obésité** a été évaluée (Gosling et al., 2021). Plusieurs variables potentiellement confondantes ont été contrôlées. Les résultats ont confirmé l'**association entre la consommation d'aliments biologiques et une diminution de l'obésité, tant pendant l'enfance qu'à l'âge adulte.**

Deux autres études transversales internationales de cohorte ont obtenu des résultats convergents : en Allemagne (Eisinger-Watzl et al., 2015) et aux Etats-Unis (Sun et al., 2018), avec des **diminutions de risque de surpoids de 9 % et 12 %, et d'obésité de 21 % et 11 %,** respectivement, chez les consommateurs d'aliments bio versus non, ces chiffres sont confirmés par la revue de Bhagavathula et al. (2022).

Une récente étude de l'EREN (Berlivet, 2024) a poursuivi ces études de l'impact de l'exposition chronique aux pesticides par l'alimentation sur la prise de masse corporelle en détaillant les effets selon le sexe sur un échantillon de 32 062 participants suivis sur une période moyenne de 7 ans.

De façon quelque peu inattendue au regard des précédents résultats, pour les hommes et les femmes post-ménopausées, une association entre une perte de poids plus importante et un modèle alimentaire hautement corrélé à la présence de pesticides a été montrée [exposition en particulier à « boscalid, cyprodinil, chlorprophame, difénoconazole, fenhéxamide, iprodione, tébuconazole, lambda-cyhalothrine »].

Seules les femmes pré-ménopausées moins exposées aux pesticides de synthèse ont pris moins de poids sur la période.

L'âge moyen relativement élevé de l'échantillon pourrait expliquer en partie la perte de poids chez les hommes, en particulier chez les plus âgés. Les auteurs indiquent qu'il est difficile de conclure car les limites

méthodologiques (telles que des problèmes de convergence dus à une double stratification) empêchent de confirmer cette hypothèse.

Etudes cliniques contrôlées

Une étude clinique contrôlée de 40 jours avec des régimes à base d'aliments biologiques ou conventionnels sur 129 enfants scolarisés a permis avec les outils de métabolomique, de montrer une diminution significative de marqueurs de statut oxydatif (8-OHdG, MDA) après un régime à base d'aliments biologiques. Ces enfants ont eu aussi **un Indice de Masse Corporelle abaissé** (Makris et al., 2019).

Une étude contrôlée de 2 semaines sur de jeunes adultes n'a pas permis de mettre en évidence de différences notables pour divers paramètres entre les régimes méditerranéens à base d'aliments biologiques ou conventionnels (Rempelos et al., 2022), ce qui peut s'expliquer par la brièveté de cette durée d'intervention.

III.3. Liens avec le risque de diabète de type 2

Les études suivantes étudient le lien entre la fréquence de consommation d'aliments biologiques et le risque de développer un diabète de type 2, qui affecte plus de 5 % de la population française.

Dans une étude de cohorte américaine (NHANES), l'association transversale entre l'achat d'aliments biologiques, en tant qu'indicateur de la consommation d'aliments biologiques, et le diabète de type 2 dans une population représentative a été évaluée (Sun et al., 2018). Les résultats ont montré que l'achat fréquent d'aliments biologiques était inversement associé à la prévalence du diabète chez les adultes aux États-Unis, avec des réductions de 20-24 %, après ajustement pour tenir compte de l'âge, du sexe, de la race ou de l'origine ethnique, des antécédents familiaux de diabète, du statut socio-économique et des facteurs liés à l'alimentation et au mode de vie.

Cohorte NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) : programme d'études visant à évaluer la santé et l'état nutritionnel des adultes et des enfants aux États-Unis. Il a débuté dans le début des années 1960, sous la forme d'une série d'enquêtes axées sur différents groupes de population ou sujets de santé. En 1999, l'enquête est devenue un programme continu qui se concentre sur une variété de mesures sur la santé et la nutrition. Chaque année, le questionnaire porte sur un échantillon national représentatif d'environ 5 000 personnes.

Dans l'étude NutriNet-Santé, les associations prospectives entre la proportion d'aliments biologiques dans l'alimentation et le risque de **diabète de type 2** après 4 ans de suivi de 32 000 adultes ont été estimées, en ajustant avec les facteurs de confusion (facteurs socio-démographiques, anthropométriques, de style de vie, médicaux et diététiques/nutritionnels) (Kesse-Guyot et al., 2020). Les résultats ont montré qu'une **consommation élevée d'aliments biologiques était inversement associée au risque de diabète de type 2, avec une réduction maximale du risque de 35 %.**

Une équipe danoise a publié des résultats sur le lien entre alimentation biologique et incidence du diabète de type 2 (Andersen et al., 2023a). Sur une cohorte de 41286 personnes âgées de 50 à 65 ans suivie sur une période de 5 ans, la consommation globale d'aliments biologiques a été associée à une incidence moindre (non significative statistiquement) du diabète de type 2. Une diminution de 5 % du risque de développer ce type de diabète pour une augmentation du score de fréquence de consommation d'aliments bio de 6 points est observée.

Cependant, les auteurs soulignent qu'une forte fréquence de consommation d'aliments bio pourrait être un indicateur d'un style de vie plus sain (ou plus aisé) et de ce fait, ils ne peuvent exclure un biais de facteurs confondants non identifiés.

III.4. Liens avec les risques de différents types de cancers

Des chercheurs ont mis en évidence des liens entre la fréquence de consommation d'aliments biologiques et la survenue de cancers.

Dans une cohorte de femmes suivies au Royaume-Uni, Million Women Study la consommation de produits biologiques a été étudiée pendant près de 10 ans (sans enregistrer de manière précise l'ensemble des consommations).

Cohorte « Million Women Study » : L'étude de cohorte Million Women Study est une grande enquête de santé menée au Royaume-Uni sur un million de femmes âgées de 50 à 69 ans, entre 1996 et 2001. Elle vise à examiner les facteurs de risque de maladies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les fractures osseuses. Les participantes ont détaillé leur mode de vie, leur historique médical, leur utilisation de médicaments et leur statut hormonal.

Après ajustements sur les facteurs de confusion, les résultats ont montré que parmi les différents types de cancer, le risque de **lymphome non hodgkinien** était **significativement inférieur de 21 % chez les femmes qui déclaraient manger habituellement ou toujours des aliments biologiques par rapport aux femmes qui déclaraient ne jamais en manger** (Bradbury et al., 2014). A contrario, l'étude de cette cohorte pointe un lien entre l'alimentation biologique et une tendance à l'augmentation, évaluée à 6 % (non significative) du risque de cancer du sein. Les auteurs indiquent que l'exposition mal mesurée constitue un biais de l'étude.

Dans la cohorte française NutriNet-Santé, l'association entre la consommation d'aliments biologiques et le risque de cancer a été étudiée (Baudry et al., 2018a), avec prise en compte des facteurs de confusion.

Après un suivi moyen de 4,5 ans auprès de 69 000 adultes, le risque de cancers les plus fréquents était en **moyenne 25 % moins élevé chez les consommateurs ayant une alimentation riche en aliments biologiques** (supérieur ou égal à 70% des aliments) que chez ceux qui n'en consommaient pratiquement pas. La réduction du risque atteignait **34 % pour le cancer du sein post-ménopause** chez la femme, 76 % pour les lymphomes totaux et 86% pour les lymphomes non Hodgkiniens.

Il faut noter qu'un ajustement a été fait dans Baudry et al. (2018a) aussi sur les AUT (aliments ultra transformés) dans un des modèles (tableau 2 modèle 3), ce qui permet donc d'écarter les effets observés des additifs sur les cancers (effets pointés plus haut).

Rebouillat et al (2021) indiquent une réduction du **risque de cancer du sein post-ménopause de 43% pour les femmes** (n=13 149, suivi de 4,8 ans) exposées aux résidus de pesticides autorisés en bio (pyréthrines naturelles et spinosad) et une augmentation du risque chez les femmes exposées le plus à un mélange de pesticides de synthèse, par un facteur 4 chez celles en surpoids ou obèses.

Aux États-Unis, Park et al., (2019) étudie le lien entre cancer du sein et alimentation biologique sur une cohorte de 39 563 participants âgés de 35 à 74 ans inclus entre 2003 et 2009. Ils concluent que la consommation d'aliment biologique la moitié ou plus de la moitié du temps est associée avec une **réduction du risque de cancer du sein de 13 %** (HR: 0.87 [95% CI, 0.77–0.99])

Peu de revues ayant synthétisé les associations entre l'exposition alimentaire aux PPP et les effets sur la santé chez les adultes non exposés professionnellement, Baudry et al. (2023) s'y attèlent en récupérant 52 études

jusqu'en juillet 2023 : 6 études concernant l'exposition alimentaire aux PPP ont été retenues avec les critères d'inclusion suivants : 1) adultes âgés de ≥ 18 ans, 2) essais (non) randomisés, études de cohortes prospectives. Une analyse des biais a été réalisée à l'aide des lignes directrices de la Nutrition Evidence Systematic Review basées sur la Cochrane ROBINS-I. Les études ont été menées soit en France, soit aux États-Unis. Les études ont porté sur le risque de cancer (n = 3), de diabète (n = 1), de maladies cardiovasculaires (n = 1) et de mortalité (n = 1). La qualité des études variait avec des notes globales dérivées de l'analyse des biais allant de biais faibles à modérés. **Le niveau de preuve a été estimé comme faible pour le risque de cancer**, tandis que la notation n'était pas attribuable aux autres critères de jugement, dans la mesure où une seule étude par critère de jugement était disponible.

Fin 2023, l'équipe du Centre de recherche danoise sur le cancer (Andersen et al., 2023b) apporte de nouveaux éléments : selon leurs résultats, la consommation globale d'aliments biologiques est associée à **une incidence plus faible de cancer de l'estomac, mais une incidence plus élevée de lymphome non hodgkinien (LNH) par rapport aux personnes ne mangeant jamais d'aliments biologiques, contrairement à ce qui a été montré par l'EREN**. Les auteurs avancent de possibles limites méthodologiques, en particulier pour expliquer ce dernier résultat, non aligné avec les analyses des autres cohortes.

Auteurs & Pays	Bradbury (2014) Royaume-Uni- "Million Women Study"	Baudry et al. (2018a) FR- « Bionutrinet-Santé »	Sandoval-Insausti et al. (2021, 2022) USA - "NHS I, NHII, HPFS"	Andersen et al., (2023b) DK- "Danish Diet, Cancer and Health cohort"
Cohortes	Suivi de 9,5 ans (entre 1996 et 2001) pour un million de femmes âgées de 50 à 69 ans	Suivi moyen de 4,5 ans auprès de 69 000 adultes (78% de femmes)	Suivi moyen de 20 ans pour 137 000 femmes, et de 22 ans pour 23500 hommes	Suivi moyen de 15 ans auprès de 41928 participants
Effets AB/ AC				
Tout cancer		- 25 %	La consommation de F&L à forte ni à faible teneur en résidus de PPP n'a pas été associée au risque global de cancer ; mais risque de mortalité réduit avec une forte consommation de F&L à faible teneur en PPP	
Sein	+ 6% (NS)	-34% (postménopause)		
LNH	- 21 %	- 86 %		+ 92 %*
Estomac				- 51 %

Tableau 9 : Synthèse des résultats obtenus par différentes études de cohorte sur l'impact de la consommation d'aliments biologiques vs non-bio sur différentes pathologies. NS : non significatif. *Les auteurs indiquent une possibilité de « hasard » pour ce résultat pour le LNH : « higher incidence of NHL, which might be due to chance ».

III.5. Association avec des marqueurs inflammatoires

Une étude de Ludwig-Borycz et al. (2021) a également montré que l'alimentation **biologique était inversement associée à la présence de biomarqueurs de l'inflammation** que sont la protéine C-réactive (utilisée pour détecter l'athérosclérose, le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, les cancers et la bronchopneumopathie chronique obstructive) et la cystatine C (utilisée pour détecter le dysfonctionnement rénal, les maladies cardiovasculaires, l'insuffisance cardiaque et le diabète). La relation perd de sa puissance statistique en ajustant selon le statut « végétarien ». Les auteurs mentionnent qu'il n'est pas possible d'exclure **une possible confusion résiduelle due à une alimentation saine et au statut socio-économique**.

III.6. Autres pathologies

Vigar et al., (2019) ont procédé à une revue systématique de la littérature et indiquent que malgré les résultats positifs significatifs issus d'études observationnelles (notamment une incidence réduite du syndrome métabolique, d'un IMC élevé, du lymphome non hodgkinien, d'infertilité, de malformations congénitales, de sensibilisation allergique (Fagerstedt et al., 2016), d'otite moyenne et de prééclampsie), les données probantes actuelles ne permettent pas de tirer de conclusions définitives sur les bénéfices à long terme de l'apport alimentaire biologique pour la santé.

Par la suite, Jiang et al. (2023) ont effectué une revue de littérature basée sur 23 études observationnelles et 27 d'intervention, et concluent que la consommation d'aliments biologiques a montré un impact bénéfique en termes de réduction de l'exposition aux pesticides, et que l'effet général sur les maladies et les changements fonctionnels (indice de masse corporelle, qualité du sperme) était appréciable. Cependant, des études à plus long terme sont nécessaires, en particulier pour évaluer les effets d'une consommation d'aliments biologiques sur les maladies isolées.

En résumé

De nombreuses études ont montré que les consommateurs de produits biologiques étaient significativement moins exposés aux PPP (Lu et al., 2006; Smith-Spangler et al., 2012; Barański et al., 2014, 2017 ; Curl et al., 2015, 2019 ; Bradman et al., 2015 ; Papadopoulou et al., 2019 ; Baudry et al., 2019a ; Vigar et al., 2020 ; Makris et al., 2019 ; Fagan et al., 2020 ; Rebouillat et al., 2021 ; Rempelos et al., 2021).

En 2021, les chercheurs en charge du suivi de la cohorte BioNutriNet synthétisent leurs résultats issus de 11 ans de recherche et plus de 15 études publiées sur la base de la cohorte BioNutriNet (Kesse-Guyot et al., 2022) : après prise en compte des facteurs de confusions, ils concluent que les grands consommateurs d'aliments biologiques ont un risque plus faible d'obésité, de diabète et de cancer. Les auteurs lient ces pathologies évitées en suivant une alimentation biologique à la moindre exposition aux PPP, les auteurs formulant des hypothèses de perturbation métabolique induits par ces résidus de PPP. (Baudry et al., 2023) considèrent le niveau de preuve comme faible pour le risque de cancer.

La prise en compte de l'ensemble des composantes du régime alimentaire et de l'exposome est impérative pour établir une relation entre alimentation biologique et des liens positifs sur la santé humaine.

Le choix des produits végétaux bio est préconisé par le PNNS4, les régimes alimentaires bio et davantage végétaux conduisant en particulier à une exposition réduite à certains résidus de pesticides de synthèse.

Conclusion et perspectives

Par rapport à 2016, le chapitre santé apporte des éléments renforcés concernant des présomptions de liens entre l'exposition aux PPP et la santé humaine, en population générale et en population professionnelle. Les liens qui avaient été pointés par l'étude collective INSERM 2013 ont été non seulement corroborés par l'actualisation de 2021, avec de **nouveaux risques sanitaires** mis en évidence, mais de **nouvelles maladies professionnelles ont été reconnues pour les agriculteurs et salariés agricoles**.

Par ailleurs, on peut souligner les nouvelles études sur les impacts sanitaires des résidus de PPP issus de l'alimentation, notamment grâce aux résultats de l'étude française NutriNet-Santé. De très nombreux articles scientifiques issus de l'analyse de cette cohorte ont précisé des liens entre la faible/forte consommation de bio et certaines pathologies. La **consommation régulière d'aliments biologiques est associée à un risque réduit d'obésité, de diabète de type 2, de cancer du sein post-ménopause et de lymphome non-hodgkinien**. Ces éléments sont partiellement corroborés par les autres études de cohortes (Royaume-Uni, Etats-Unis, Danemark) ; certains résultats étant non convergents (par rapport au cancer du sein, et LNH en particulier). Certaines associations nécessitent i) d'être reproduites dans d'autres contextes, ii) sur des temps de suivi plus longs, iii) voire d'être couplées à des études expérimentales pour être confirmées.

Bien que des recherches plus approfondies soient nécessaires pour examiner plus en profondeur les relations entre l'exposition chronique à faibles doses de pesticides par l'alimentation et les conséquences des maladies non transmissibles chez les adultes non exposés professionnellement, des études suggèrent un rôle de l'exposition aux résidus de PPP sur la santé. Des lignes directrices méthodologiques standardisées devraient également être proposées pour permettre la comparaison entre les études.

Les impacts des engrais phosphatés et en particulier du cadmium ont été traités, la problématique du cadmium ayant pris une acuité particulière, les consommateurs français étant particulièrement exposés par rapport aux voisins européens du fait de l'approvisionnement au Maroc (gisement riche en cadmium).

La question de l'exposition aux « intrants de l'aval » (additifs) a été étayée ; un certain nombre d'articles concernant des impacts sanitaires des additifs alimentaires ont été passés en revue. Cependant, un travail de caractérisation des produits bio/non bio mériterait d'être approfondi sur ce volet pour être en mesure de conclure en termes d'effets différenciés.

Ainsi, les effets bénéfiques sur la santé de la consommation d'aliments biologiques par rapport aux aliments conventionnels sont liés à des niveaux plus faibles de résidus de PPP, de cadmium, à des niveaux potentiellement plus élevés de composés phytochimiques et à une composition en acides gras plus favorable. Par ailleurs, par son moindre usage d'antibiotiques, l'AB contribue moins au phénomène d'antibiorésistance, qui est un enjeu de santé publique croissant.

La formulation des produits transformés bio pourrait également avoir un impact positif (non mesuré ou quantifiable en l'état des connaissances) par une meilleure formulation (moins de sucre et de sel ajoutés), par la limitation des additifs autorisés - et ainsi l'évitement de certains additifs problématiques - et via la part moins importante d'aliments ultra-transformés dans l'offre bio.

Enfin, plus globalement, il nous semble important d'élargir l'approche santé humaine à la prise en compte des enjeux environnementaux. Ainsi, les recommandations alimentaires du PNNS4-2019 indiquent qu'il s'agit à la fois de diminuer la consommation des aliments d'origine animale/augmenter celle de tous les groupes

d'aliments végétaux et de privilégier la consommation bio, à la fois en termes de santé, mais également de durabilité environnementale. (Kesse-Guyot et al., 2020) pointent que l'adoption de ces recommandations alimentaires par une large partie de la population pourrait contribuer à la prévention des maladies chroniques tout en réduisant les pressions sur l'environnement liées au système agri-alimentaire (Kesse-Guyot et al., 2020). L'adhésion aux recommandations pourrait conduire à une alimentation de meilleure qualité nutritionnelle, une nette réduction de l'exposition aux pesticides par l'alimentation (avec 50% d'aliments bio), conduisant à une santé améliorée et moins d'externalités négatives sur les ressources naturelles et le climat, pour un prix d'achat de l'alimentation légèrement supérieur (+ 0.9 €/jour/personne) (Seconda et al., 2018).

Pour conclure, au regard de l'ensemble des données scientifiques compilées dans ce rapport, il nous semble qu'une démarche de santé publique peut s'appuyer sur le concept "Une santé unique" porté par l'ONU pour renforcer les dispositifs d'accompagnement en faveur d'une double transition avec i) **une agriculture davantage biologique**, et ii) **une évolution des régimes alimentaires plus sains**. Cette transition de nos systèmes agri-alimentaires doit donc conjuguer, de façon systémique, des soutiens publics au niveau de l'offre et de la demande.

Liste des références bibliographiques – 30/05/2024

- Aas, T.S., Ytrestøyl, T., Åsgård, T., 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports* 15, 100216. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100216>
- Abou-Donia, M.B., El-Masry, E.M., Abdel-Rahman, A.A., McLendon, R.E., Schiffman, S.S., 2008. Splenda alters gut microflora and increases intestinal p-glycoprotein and cytochrome p-450 in male rats. *J Toxicol Environ Health A* 71, 1415–1429. <https://doi.org/10.1080/15287390802328630>
- Ager, E.O., Carvalho, T., Silva, E.M., Ricke, S.C., Hite, J.L., 2023. Global trends in antimicrobial resistance on organic and conventional farms. *Sci Rep* 13, 22608. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47862-7>
- Alliot, C., Mc Adams-Marin, D., Borniotto, D., Baret, P.V., 2022. The social costs of pesticide use in France. *Front. Sustain. Food Syst.* 6, 1027583. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1027583>
- Andersen, J.L.M., Frederiksen, K., Hansen, J., Kyrø, C., Overvad, K., Tjønneland, A., Olsen, A., Raaschou-Nielsen, O., 2023a. Organic food consumption and the incidence of cancer in the Danish diet, cancer and health cohort. *Eur J Epidemiol* 38, 59–69. <https://doi.org/10.1007/s10654-022-00951-9>
- Andersen, J.L.M., Frederiksen, K., Kyrø, C., Hansen, J., Raaschou-Nielsen, O., Overvad, K., Tjønneland, A., Olsen, A., 2023b. Organic food consumption and the incidence of type 2 diabetes mellitus in the Danish Diet, Cancer and Health cohort. *Diabetes Research and Clinical Practice* 205, 110972. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110972>
- ANSES, 2023. Définition des nanomatériaux : analyse, enjeux et controverses. Connaître, évaluer, protéger. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.
- ANSES, 2022a. Cartographie des utilisations des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre en France en considérant leur application en agriculture biologique et conventionnelle. (saisine 2021-AUTO-0060). Maisons-Alfort : Anses, 133 p
- ANSES, 2022b. AVIS révisé et RAPPORT de l'Anses relatif aux risques associés à la consommation de nitrites et de nitrates. <https://www.anses.fr/fr/content/avis-r%C3%A9vis%C3%A9-et-rapport-de-lanses-relatif-aux-risques-associ%C3%A9s-%C3%A0-la-consommation-de-nitrites>
- ANSES, 2021. Note d'appui scientifique et technique de l'ANSES relatif à la recommandation de niveaux en cadmium dans les matières fertilisantes permettant de maîtriser la contamination en cadmium des sols et des productions agricoles et de l'exposition de la population humaine.
- ANSES, 2020. Nanomatériaux dans l'alimentation : les recommandations de l'Anses pour améliorer leur identification et mieux évaluer les risques sanitaires pour les consommateurs
- ANSES, 2020 – Nanomatériaux dans les produits destinés à l'alimentation : Avis et rapport d'expertise collective. <https://www.anses.fr/fr/content/nanomat%C3%A9riaux-dans-l%E2%80%99alimentation-les-recommandations-de-l%E2%80%99anses-pour-am%C3%A9liorer-leur>
- ANSES, 2019. Exposition au cadmium : l'Anses propose des valeurs limites pour mieux protéger les consommateurs et les travailleurs. <https://www.anses.fr/fr/content/exposition-au-cadmium-l%E2%80%99anses-propose-des-valeurs-limites-pour-mieux-prot%C3%A9ger-les>
- ANSES, 2011a. Actualisation des Apports Nutritionnels Conseillés pour les acides gras - Version intégrant les modifications apportées par l'erratum du 28 juillet 2011. <https://www.anses.fr/fr/content/actualisation-des-apports-nutritionnels-conseill%C3%A9s-pour-les-acides-gras-version-int%C3%A9grant-0> (accessed 2.22.24).
- ANSES, 2011b. ANSES opinion and expert appraisal report on the second French Total Diet Study (TDS2) - Volume 1: Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phyto-oestrogens.
- Aribi, N., Denis, B., Kilani-Morakchi, S., Joly, D., 2020. L'azadirachtine, un pesticide naturel aux effets multiples. *Med Sci (Paris)* 36, 44–49. <https://doi.org/10.1051/medsci/2019268>
- Ataseven, N., Yüzbaşıoğlu, D., Keskin, A.Ç., Ünal, F., 2016. Genotoxicity of monosodium glutamate. *Food Chem Toxicol* 91, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.02.021>
- Baldi, I., Jérémie, B., Chevrier, C., Coumoul, X., Elbaz, A., Goujon, S., Jouzel, J.-N., Monnereau, A., Multigner, L., Salles, B., Siroux, V., Spinosi, J., n.d. Pesticides et effets sur la santé: Nouvelles données.
- Baldrige, A.S., Huffman, M.D., Taylor, F., Xavier, D., Bright, B., Van Horn, L.V., Neal, B., Dunford, E., 2019. The Healthfulness of the US Packaged Food and Beverage Supply: A Cross-Sectional Study. *Nutrients* 11, 1704. <https://doi.org/10.3390/nu11081704>
- Ballot, R., Delière, L., Desquilbet, M., Saint-Cyr, L., Fiore, K., Tessier, N., Laville, J., Perrault, L., Cap, J., 2022. Cartographie des utilisations des produits phytopharmaceutiques à base de cuivre en France en considérant leur application en agriculture biologique et conventionnelle (report). Anses.
- Bandyopadhyay, A., Ghoshal, S., Mukherjee, A., 2008. Genotoxicity testing of low-calorie sweeteners: aspartame, acesulfame-K, and saccharin. *Drug Chem Toxicol* 31, 447–457. <https://doi.org/10.1080/01480540802390270>
- Baraldi, L.G., Steele, E.M., Canella, D.S., Monteiro, C.A., 2018. Consumption of ultra-processed foods and associated sociodemographic factors in the USA between 2007 and 2012: evidence from a nationally representative cross-sectional study. *BMJ Open* 8, e020574. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-020574>
- Barański, M., Rempel, L., Iversen, P.O., Leifert, C., 2017. Effects of organic food consumption on human health; the jury is still out! *Food Nutr Res* 61, 1287333. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1287333>
- Barański, M., Srednicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G.B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Tahvonen, R., Janovská, D., Niggli, U., Nicot, P., Leifert, C., 2014. 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* 112, 794–811. <https://doi.org/10.1017/S0007114514001366>
- Başak, K., Başak, P., Doğuç, D., Aylak, F., Oğuztüzün, S., Bozer, B., Gültekin, F., 2017. Does maternal exposure to artificial food coloring additives increase oxidative stress in the skin of rats? *Hum Exp Toxicol* 36, 1023–1030. <https://doi.org/10.1177/0960327116678297>
- Baudry, J., Allès, B., Péneau, S., Touvier, M., Méjean, C., Hercberg, S., Galan, P., Lairon, D., Kesse-Guyot, E., 2017. 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 Nutrition* 20, 638–648. <https://doi.org/10.1017/S1368980016002718>

Baudry, J., Assmann, K.E., Touvier, M., Allès, B., Seconda, L., Latino-Martel, P., Ezzedine, K., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Kesse-Guyot, E., 2018. Association of Frequency of Organic Food Consumption With Cancer Risk: Findings From the NutriNet-Santé Prospective Cohort Study. *JAMA Intern Med* 178, 1597–1606. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.4357>

Baudry, J., Debrauwer, L., Durand, G., Limon, G., Delcambre, A., Vidal, R., Taupier-Letage, B., Druésne-Pecollo, N., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Cravedi, J.-P., Kesse-Guyot, E., 2019a. 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* 29, 366–378. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0062-9>

Baudry, J., Ducros, V., Druésne-Pecollo, N., Galan, P., Hercberg, S., Debrauwer, L., Amiot, M.J., Lairon, D., Kesse-Guyot, E., 2019b. Some Differences in Nutritional Biomarkers are Detected Between Consumers and Nonconsumers of Organic Foods: Findings from the BioNutriNet Project. *Curr Dev Nutr* 3, nzy090. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy090>

Baudry, J., Méjean, C., Allès, B., Péneau, S., Touvier, M., Hercberg, S., Lairon, D., Galan, P., Kesse-Guyot, E., 2015. Contribution of Organic Food to the Diet in a Large Sample of French Adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients* 7, 8615–8632. <https://doi.org/10.3390/nu7105417>

Baudry, J., Pointereau, P., Seconda, L., Vidal, R., Taupier-Letage, B., Langevin, B., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Amiot, M.-J., Boizot-Szantai, C., Hamza, O., Cravedi, J.-P., Debrauwer, L., Soler, L.-G., Lairon, D., Kesse-Guyot, E., 2019c. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *Am J Clin Nutr* 109, 1173–1188. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy361>

Baudry, J., Rebouillat, P., Allès, B., Cravedi, J.-P., Touvier, M., Hercberg, S., Lairon, D., Vidal, R., Kesse-Guyot, E., 2021. Estimated dietary exposure to pesticide residues based on organic and conventional data in omnivores, pesco-vegetarians, vegetarians and vegans. *Food Chem Toxicol* 153, 112179. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112179>

Baudry, J., Rebouillat, P., Samieri, C., Berlivet, J., Kesse-Guyot, E., 2023. Dietary pesticide exposure and non-communicable diseases and mortality: a systematic review of prospective studies among adults. *Environ Health* 22, 76. <https://doi.org/10.1186/s12940-023-01020-8>

Baykalır, Y., ŞİMŞEK, Ü., Yılmaz, O., 2020. Age-related changes in egg yolk composition between conventional and organic table eggs. *Agricultural and Food Science* 29, 307–317. <https://doi.org/10.23986/afsci.91704>

Benbrook, C., 2008. New evidence confirms the nutritional superiority of plant-based organic foods.

Benbrook, C.M., Butler, G., Latif, M.A., Lelfert, C., Davis, D.R., 2013. Organic production enhances milk nutritional quality by shifting fatty acid composition: a United States-wide, 18-month study. *PLoS One* 8, e82429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082429>

Béranger, R., Hardy, E.M., Binter, A.-C., Charles, M.-A., Zaros, C., Appenzeller, B.M.R., Chevrier, C., 2020. Multiple pesticides in mothers' hair samples and children's measurements at birth: Results from the French national birth cohort (ELFE). *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 223, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.10.010>

Berlivet, J., Payrastré, L., Rebouillat, P., Fougerat, A., Touvier, M., Hercberg, S., Lairon, D., Pointereau, P., Guillou, H., Vidal, R., Baudry, J., Kesse-Guyot, E., 2024. Association between dietary pesticide exposure profiles and body weight change in French adults: Results from the NutriNet-Santé cohort. *Environment International* 184, 108485. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108485>

Beslay, M., Srour, B., Méjean, C., Allès, B., Fiolet, T., Debras, C., Chazelas, E., Deschasaux, M., Wendeu-Foyet, M.G., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C.A., Deschamps, V., Calixto Andrade, G., Kesse-Guyot, E., Julia, C., Touvier, M., 2020. Ultra-processed food intake in association with BMI change and risk of overweight and obesity: A prospective analysis of the French NutriNet-Santé cohort. *PLoS Med* 17, e1003256. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003256>

Bhagavathula, A.S., Vidyasagar, K., Khubchandani, J., 2022. Organic Food Consumption and Risk of Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Switzerland)* 10, undefined-undefined. <https://doi.org/10.3390/healthcare10020231>

Birlouez-Aragon, I., Morales, F., Fogliano, V., Pain, J.-P., 2010. The health and technological implications of a better control of neoformed contaminants by the food industry. *Pathol Biol (Paris)* 58, 232–238. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2009.09.015>

Boobis, A., Budinsky, R., Collie, S., Crofton, K., Embry, M., Felter, S., Hertzberg, R., Kopp, D., Mihlan, G., Mumtaz, M., Price, P., Solomon, K., Teuschler, L., Yang, R., Zaleski, R., 2011. Critical analysis of literature on low-dose synergy for use in screening chemical mixtures for risk assessment. *Crit Rev Toxicol* 41, 369–383. <https://doi.org/10.3109/10408444.2010.543655>

Bradbury, K.E., Balkwill, A., Spencer, E.A., Roddam, A.W., Reeves, G.K., Green, J., Key, T.J., Beral, V., Pirie, K., Million Women Study Collaborators, 2014. Organic food consumption and the incidence of cancer in a large prospective study of women in the United Kingdom. *Br J Cancer* 110, 2321–2326. <https://doi.org/10.1038/bjc.2014.148>

Bradman, A., Quirós-Alcalá, L., Castorina, R., Aguilar Schall, R., Camacho, J., Holland, N.T., Barr, D.B., Eskenazi, B., 2015. Effect of Organic Diet Intervention on Pesticide Exposures in Young

Bureau, M., Béziat, B., Duporté, G., Bouchart, V., Lecluse, Y., Barron, E., Garrigou, A., Dévier, M.-H., Budzinski, H., Lebaillly, P., Baldi, I., 2022. Pesticide exposure of workers in apple growing in France. *Int Arch Occup Environ Health* 95, 811–823. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01810-y>

Cassini, A., Höglberg, L.D., Plachouras, D., Quattrocchi, A., Hoxha, A., Simonsen, G.S., Colomb-Cotinat, M., Kretzschmar, M.E., Devleeschauwer, B., Cecchini, M., Ouakrim, D.A., Oliveira, T.C., Struelens, M.J., Suetens, C., Monnet, D.L., Strauss, R., Mertens, K., Struyf, T., Catry, B., Latour, K., Ivanov, I.N., Dobrev, E.G., Tambic Andrašević, A., Soprek, S., Budimir, A., Paphitou, N., Žemlicková, H., Schytte Olsen, S., Wolff Sönksen, U., Märtin, P., Ivanova, M., Lyytikäinen, O., Jalava, J., Coignard, B., Eckmanns, T., Abu Sin, M., Haller, S., Daikos, G.L., Gikas, A., Tsiodras, S., Kontopidou, F., Tóth, Á., Hajdu, Á., Guólaugsson, Ó., Kristinsson, K.G., Murchan, S., Burns, K., Pezzotti, P., Gagliotti, C., Dumpis, U., Liuimene, A., Perrin, M., Borg, M.A., De Greeff, S.C., Monen, J.C., Koek, M.B., Elstrøm, P., Zabicka, D., Deptula, A., Hryniewicz, W., Caniça, M., Nogueira, P.J., Fernandes, P.A., Manageiro, V., Popescu, G.A., Serban, R.I., Schréterová, E., Litvová, S., Štefkovicová, M., Kolman, J., Klavs, I., Korošec, A., Aracil, B., Asensio, A., Pérez-Vázquez, M., Billström, H., Larsson, S., Reilly, J.S., Johnson, A., Hopkins, S., 2019. Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis. *The Lancet Infectious Diseases* 19, 56–66. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30605-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30605-4)

Children Living in Low-Income Urban and Agricultural Communities. *Environ Health Perspect* 123, 1086–1093. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408660>

Brandt, K., Lelfert, C., Sanderson, R., Seal, C., 2011. Agroecosystem Management and Nutritional Quality of Plant Foods: The Case of Organic Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30, 177–197. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554417>

Brantsæter, A.L., Torjusén, H., Meltzer, H.M., Papadopoulou, E., Hoppin, J.A., Alexander, J., Lieblein, G., Roos, G., Holten, J.M., Swartz, J., Haugen, M., 2016. Organic Food Consumption during Pregnancy and Hypospadias and Cryptorchidism at Birth: The Norwegian Mother and Child Cohort Study (MoBa). *Environmental Health Perspectives* 124, 357–364. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409518>

- Brantsæter, A.L., Ydersbond, T.A., Hoppin, J.A., Haugen, M., Meltzer, H.M., 2017. Organic Food in the Diet: Exposure and Health Implications. *Annual Review of Public Health* 38, 295–313. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031816-044437>
- Brignon, J.-M., Gamet-Payrastra, L., 2022. Impacts des produits chimiques sur la santé. *ADSP* 120, 32–37.
- Brodal, G., Hofgaard, I., Eriksen, G., Bernhoft, A., Sundheim, L., 2016. Mycotoxins in organically versus conventionally produced cereal grains and some other crops in temperate regions. *World Mycotoxin Journal* 9, 1–16. <https://doi.org/10.3920/WMJ2016.2040>
- Brodziak, A., Król, J., Litwińczuk, Z., Barłowska, J., 2018. Differences in bioactive protein and vitamin status of milk from certified organic and conventional farms. *International Journal of Dairy Technology* 71, 321–332. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12462>
- Burtscher-Schaden, H., Durstberger, T., Zaller, J.G., 2022. Toxicological Comparison of Pesticide Active Substances Approved for Conventional vs. Organic Agriculture in Europe. *Toxics* 10, 753. <https://doi.org/10.3390/toxics10120753>
- Buscail, C., Chevrier, C., Serrano, T., Pelé, F., Monfort, C., Cordier, S., Viel, J.-F., 2015. Prenatal pesticide exposure and otitis media during early childhood in the PELAGIE mother-child cohort. *Occup Environ Med* 72, 837–844. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-103039>
- Calvo, M.S., Lamberg-Allardt, C.J., 2017. Vitamin D research and public health nutrition: a current perspective. *Public Health Nutrition* 20, 1713–1717. <https://doi.org/10.1017/S1368980017001835>
- Chakraborty, S.P., 2019. Patho-physiological and toxicological aspects of monosodium glutamate. *Toxicol Mech Methods* 29, 389–396. <https://doi.org/10.1080/15376516.2018.1528649>
- Chardon, Hélène, Brugère, Hubert, 2014. Usages des antibiotiques en élevage et filières viandes - CIV.
- Chassaing, B., Compher, C., Bonhomme, B., Liu, Q., Tian, Y., Walters, W., Nessel, L., Delaroque, C., Hao, F., Gershuni, V., Chau, L., Ni, J., Bewtra, M., Albenberg, L., Bretin, A., McKeever, L., Ley, R.E., Patterson, A.D., Wu, G.D., Gewirtz, A.T., Lewis, J.D., 2022. Randomized Controlled-Feeding Study of Dietary Emulsifier Carboxymethylcellulose Reveals Detrimental Impacts on the Gut Microbiota and Metabolome. *Gastroenterology* 162, 743–756. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2021.11.006>
- Chassaing, B., Koren, O., Goodrich, J.K., Poole, A.C., Srinivasan, S., Ley, R.E., Gewirtz, A.T., 2015. Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature* 519, 92–96. <https://doi.org/10.1038/nature14232>
- Chazelas, E., Druesne-Pecollo, N., Esseddik, Y., De Edelenyi, F.S., Agaesse, C., De Sa, A., Lutchia, R., Rebouillat, P., Srour, B., Debras, C., Wendeu-Foyet, G., Huybrechts, I., Pierre, F., Coumoul, X., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., 2021. Exposure to food additive mixtures in 106,000 French adults from the NutriNet-Santé cohort. *Sci Rep* 11, 19680. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98496-6>
- Chazelas, E., Pierre, F., Druesne-Pecollo, N., Esseddik, Y., Szabo de Edelenyi, F., Agaesse, C., Sa, A., Lutchia, R., Gigandet, S., Srour, B., Debras, C., Huybrechts, I., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux, M., Touvier, M., 2022. Nitrites and nitrates from food additives and natural sources and cancer risk: results from the NutriNet-Santé cohort. *International Journal of Epidemiology* 51. <https://doi.org/10.1093/ije/dyac046>
- Chiu, Y.-H., Sandoval-Insausti, H., Ley, S.H., Bhupathiraju, S.N., Hauser, R., Rimm, E.B., Manson, J.E., Sun, Q., Chavarro, J.E., 2019. Association between intake of fruits and vegetables by pesticide residue status and coronary heart disease risk. *Environ Int* 132, 105113. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105113>
- Christensen, J.S., Askund, C., Skakkebæk, N.E., Jørgensen, N., Andersen, H.R., Jørgensen, T.M., Olsen, L.H., Høyer, A.P., Moesgaard, J., Thorup, J., Jensen, T.K., 2013. Association between organic dietary choice during pregnancy and hypospadias in offspring: a study of mothers of 306 boys operated on for hypospadias. *J Urol* 189, 1077–1082. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2012.09.116>
- Christodoulou, A., Davidou, S., Frank, K., Ebner, P., 2019. Complémentarité entre l'indice Siga et le Nutri-Score pour refléter le potentiel santé des aliments.
- Cintra, R., Malheiros, J., Ferraz, A.P., Chardulo, L., 2018. Review of Nutritional Characteristics of Organic Animal Foods: Eggs, Milk, and Meat.
- Cornwell, B., Villamor, E., Mora-Plazas, M., Marin, C., Monteiro, C.A., Baylin, A., 2018. Processed and ultra-processed foods are associated with lower-quality nutrient profiles in children from Colombia. *Public Health Nutrition* 21, 142–147. <https://doi.org/10.1017/S1368980017000891>
- Costa, C., García-Lestón, J., Costa, S., Coelho, P., Silva, S., Pingarilho, M., Valdiglesias, V., Mattei, F., Dall'Armi, V., Bonassi, S., Laffon, B., Snawder, J., Teixeira, J.P., 2014. Is organic farming safer to farmers' health? A comparison between organic and traditional farming. *Toxicol Lett* 230, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.02.011>
- Coste, A., Goujon, S., Faure, L., Hémon, D., Clavel, J., 2020. Agricultural crop density in the municipalities of France and incidence of childhood leukemia: An ecological study. *Environ Res* 187, 109517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109517>
- Crépet, A., Héraud, F., Béchaux, C., Gouze, M.E., Pierlot, S., Fastier, A., Leblanc, J.C., Le Hégarat, L., Takakura, N., Fessard, V., Tressou, J., Maximilien, R., de Sousa, G., Nawaz, A., Zucchini-Pascal, N., Rahmani, R., Audebert, M., Graillot, V., Cravedi, J.P., 2013a. The PERICLES research program: an integrated approach to characterize the combined effects of mixtures of pesticide residues to which the French population is exposed. *Toxicology* 313, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2013.04.005>
- Crépet, A., Tressou, J., Graillot, V., Béchaux, C., Pierlot, S., Héraud, F., Leblanc, J.C., 2013b. Identification of the main pesticide residue mixtures to which the French population is exposed. *Environmental Research* 126, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.03.008>
- Csáki, K.F., 2011. Synthetic surfactant food additives can cause intestinal barrier dysfunction. *Med Hypotheses* 76, 676–681. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.01.030>
- Curl, C.L., Beresford, S.A.A., Fenske, R.A., Fitzpatrick, A.L., Lu, C., Nettleton, J.A., Kaufman, J.D., 2015. Estimating Pesticide Exposure from Dietary Intake and Organic Food Choices: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Environmental Health Perspectives* 123, 475–483. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408197>
- Curl, C.L., Porter, J., Penwell, I., Phinney, R., Ospina, M., Calafat, A.M., 2019. Effect of a 24-week randomized trial of an organic produce intervention on pyrethroid and organophosphate pesticide exposure among pregnant women. *Environment International* 132, 104957. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104957>
- Dall'Asta, M., Angelino, D., Pellegrini, N., Martini, D., 2020. The Nutritional Quality of Organic and Conventional Food Products Sold in Italy: Results from the Food Labelling of Italian Products (FLIP) Study. *Nutrients* 12, 1273. <https://doi.org/10.3390/nu12051273>

- Dangour, A.D., Dodhia, S.K., Hayter, A., Allen, E., Lock, K., Uauy, R., 2009. Nutritional quality of organic foods: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition* 90, 680–685. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28041>
- Daud, N., Currie, V., Duncan, G., Filipe, J.A.N., Yoshinari, T., Stoddart, G., Roberts, D., Gratz, S.W., 2023. Free and Modified Mycotoxins in Organic and Conventional Oats (*Avena sativa* L.) Grown in Scotland. *Toxins* 15, 247. <https://doi.org/10.3390/toxins15040247>
- Davidou, S., Frank, K., Christodoulou, A., Fardet, A., 2022. Organic food retailing: to what extent are foods processed and do they contain markers of ultra-processing? *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 73, 172–183. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1966395>
- Debras, C., Chazelas, E., Sellem, L., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Deschasaux, M., Huybrechts, I., Srour, B., Touvier, M., 2022a. Artificial sweeteners and risk of cardiovascular diseases in the prospective NutriNet-Santé cohort. *European Journal of Public Health* 32. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckac129.013>
- Debras, C., Chazelas, E., Srour, B., Druet-Pecollet, N., Esseddik, Y., Szabo de Edelenyi, F., Agaësse, C., De Sa, A., Luchini, R., Gigandet, S., Huybrechts, I., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Andreeva, V.A., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., 2022b. Artificial sweeteners and cancer risk: Results from the NutriNet-Santé population-based cohort study. *PLoS Med* 19, e1003950. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003950>
- Debras, C., Srour, B., Chazelas, E., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Fezeu, L.K., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., 2022c. Aliments ultra-transformés, maladies chroniques, et mortalité : résultats de la cohorte prospective NutriNet-Santé. *Cahiers de Nutrition et de Diététique, Numéro thématique : Aliments transformés / Ultra-processed foods* 57, 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2021.08.004>
- Defarge, N., Takács, E., Lozano, V.L., Mesnage, R., Spiroux de Vendômois, J., Séralini, G.-E., Székács, A., 2016. Co-Formulants in Glyphosate-Based Herbicides Disrupt Aromatase Activity in Human Cells below Toxic Levels. *Int J Environ Res Public Health* 13, 264. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030264>
- Dehghan, P., Mohammadi, A., Mohammadzadeh-Aghdash, H., Ezzati Nazhad Dolatabadi, J., 2018. Pharmacokinetic and toxicological aspects of potassium sorbate food additive and its constituents. *Trends in Food Science & Technology* 80, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.012>
- Dereumeaux, C., Fillol, C., Quenel, P., Denys, S., 2020. Pesticide exposures for residents living close to agricultural lands: A review. *Environ Int* 134, 105210. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105210>
- Dervilly-Pinel, G., Guérin, T., Minvielle, B., Travel, A., Normand, J., Bourin, M., Royer, E., Dubreil, E., Mompelat, S., Hommet, F., Nicolas, M., Hort, V., Inthavong, C., Saint-Hilaire, M., Chafey, C., Parinet, J., Cariou, R., Marchand, P., Le Bizet, B., Verdon, E., Engel, E., 2017. Micropollutants and chemical residues in organic and conventional meat. *Food Chemistry* 232, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.013>
- Desquilbet, M., Maigné, E., Monier-Dilhan, S., 2018. Organic Food Retailing and the Conventionalisation Debate. *Ecological Economics* 150, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.025>
- Di Marco, P., Petochi, T., Marino, G., Priori, A., Fioino, M.G., Tomassetti, P., Porrello, S., Giorgi, G., Lupi, P., Bonelli, A., Parisi, G., Poli, B.M., 2017. Insights into organic farming of European sea bass *Dicentrarchus labrax* and gilthead sea bream *Sparus aurata* through the assessment of environmental impact, growth performance, fish welfare and product quality. *Aquaculture* 471, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.01.012>
- Dissanayake, C., Chandrajith, R., 2009. Phosphate Mineral Fertilizers, trace metals and human health. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 37, 153–165. <https://doi.org/10.4038/jnsfrv37i3.1219>
- ECDC/EMA, 2009. Joint Technical Report: The bacterial challenge: time to react.
- ECERI, 2009. Expertise toxicologique concernant cinq produits phytosanitaires utilisés par épandage aérien en Martinique et en Guadeloupe (Antilles françaises) - Rapport final du comité d'expertise du conseil scientifique de l'ECERI faisant suite à la saisine de l'AMSES-Martinique.
- Economou, V., Zisides, N., Gousia, P., Petsios, S., Sakkas, H., Soultos, N., Papadopoulos, C., 2015. Prevalence and antimicrobial profile of *Campylobacter* isolates from free-range and conventional farming chicken meat during a 6-year survey. *Food Control* 56, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.022>
- EFSA, E.F.S., 2009. Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal* 7, 980. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980>
- EFSA, E.F.S., Anagnostopoulos, C., Anastassiadou, M., Castoldi, A.F., Cavelier, A., Coja, T., Crivellente, F., Dujardin, B., Hart, A., Hooghe, W., Jarrah, S., Machera, K., Menegola, E., Metruccio, F., Sieke, C., Mohimont, L., 2022a. Retrospective cumulative dietary risk assessment of craniofacial alterations by residues of pesticides. *EFSA Journal* 20, e07550. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7550>
- EFSA, E.F.S., Anastassiadou, M., Choi, J., Coja, T., Dujardin, B., Hart, A., Hernandez-Jerez, A.F., Jarrah, S., Lostia, A., Machera, K., Mangas, I., Mienne, A., Schepens, M., Widenfalk, A., Mohimont, L., 2021. Cumulative dietary risk assessment of chronic acetylcholinesterase inhibition by residues of pesticides. *EFSA Journal* 19, e06392. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6392>
- EFSA, E.F.S., Arena, M., Auteri, D., Barmaz, S., Brancato, A., Brocca, D., Bura, L., Carrasco Cabrera, L., Chiusolo, A., Civitella, C., Court Marques, D., Crivellente, F., Ctverackova, L., De Lentdecker, C., Egsmose, M., Erdos, Z., Fait, G., Ferreira, L., Goumenou, M., Greco, L., Ippolito, A., Istace, F., Jarrah, S., Kardassi, D., Leuschner, R., Lythgo, C., Magrans, J.O., Medina, P., Mineo, D., Miron, I., Molnar, T., Padovani, L., Parra Morte, J.M., Pedersen, R., Reich, H., Riemenschneider, C., Sacchi, A., Santos, M., Serafimova, R., Sharp, R., Stanek, A., Streissl, F., Sturma, J., Szentes, C., Tarazona, J., Terron, A., Theobald, A., Vagenende, B., Van Dijk, J., Villamar-Bouza, L., 2018. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance BAS 750 F (mefentrifluconazole). *EFSA Journal* 16, e05379. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5379>
- EFSA, E.F.S., Carrasco Cabrera, L., Di Piazza, G., Dujardin, B., Medina Pastor, P., 2023. The 2021 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal* 21, e07939. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7939>
- EFSA, E.F.S., Carrasco Cabrera, L., Medina Pastor, P., 2022b. The 2020 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal* 20, e07215. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7215>
- EFSA, E.F.S., Craig, P.S., Dujardin, B., Hart, A., Hernández-Jerez, A.F., Hougaard Bennekou, S., Kneuer, C., Ossendorp, B., Pedersen, R., Wolterink, G., Mohimont, L., 2020. Cumulative dietary risk characterisation of pesticides that have acute effects on the nervous system. *EFSA Journal* 18, e06087. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6087>
- EFSA, E.F.S., Medina-Pastor, P., Triacchini, G., 2020. The 2018 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA J* 18, e06057. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6057>

EFSA Panel on Food Additives and Flavourings (FAF), Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K.-H., Fowler, P.J., Frutos Fernandez, M.J., Fürst, P., Gundert-Remy, U., Gürtler, R., Husøy, T., Manco, M., Mennes, W., Moldeus, P., Passamonti, S., Shah, R., Waalkens-Berendsen, I., Boon, P., Cheyns, K., Crebelli, R., FitzGerald, R., Lambré, C., Mirat, M., Ulbrich, B., Vleminckx, C., Mech, A., Rincon, A.M., Tard, A., Horvath, Z., Wright, M., 2022. Follow-up of the re-evaluation of sulfur dioxide (E 220), sodium sulfite (E 221), sodium bisulfite (E 222), sodium metabisulfite (E 223), potassium metabisulfite (E 224), calcium sulfite (E 226), calcium bisulfite (E 227) and potassium bisulfite (E 228). *EFSA Journal* 20, e07594. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7594>

EFSA, Younes, M., Aquilina, G., 2021. Safety assessment of titanium dioxide (E171) as a food additive - - 2021 - EFSA Journal - Wiley Online Library. *EFSA Journal*.

EFSA, Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K.-H., Fowler, P., Frutos Fernandez, M.J., Fürst, P., Gürtler, R., Husøy, T., Mennes, W., Moldeus, P., Oskarsson, A., Shah, R., Waalkens-Berendsen, I., Wölfe, D., Aggett, P., Cupisti, A., Fortes, C., Kuhnle, G., Lillegaard, I.T., Scotter, M., Giarola, A., Rincon, A., Tard, A., Gundert-Remy, U., 2019. Re-evaluation of phosphoric acid-phosphates – di-, tri- and polyphosphates (E 338–341, E 343, E 450–452) as food additives and the safety of proposed extension of use. *EFSA Journal* 17, e05674. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5674>

EFSA, E.F.S., European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2023. The European Union Summary Report on Antimicrobial Resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2020/2021. *EFSA Journal* 21, e07867. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7867>

Eisinger-Watzl, M., Wittig, F., Heuer, T., Hoffmann, I., 2015. Customers Purchasing Organic Food - Do They Live Healthier? Results of the German National Nutrition Survey II. *EJNFS* 5, 59–71. <https://doi.org/10.9734/EJNFS/2015/12734>

El Jaoudi, R., Mamouch, F., Ait El Cadi, M., Bousliman, Y., Cherrah, Y., Bouklouze, A., 2012. Determination of Fluoride in Tap Water in Morocco using a Direct Electrochemical Method. *Bull Environ Contam Toxicol* 89, 390–394. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0706-8>

Ernststoff, A.S., Fantke, P., Huang, L., Joliet, O., 2017. High-throughput migration modelling for estimating exposure to chemicals in food packaging in screening and prioritization tools. *Food Chem Toxicol* 109, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.09.024>

Esaiassen, M., Jensen, T.K., Edvinsen, G.K., Otnæs, C.H.A., Ageeva, T.N., Mæhre, H.K., 2022. Nutritional value and storage stability in commercially produced organically and conventionally farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Norway. *Applied Food Research* 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100033>

Esteban, J.I., Oporto, B., Aduriz, G., Juste, R.A., Hurtado, A., 2008. A survey of food-borne pathogens in free-range poultry farms. *Int J Food Microbiol* 123, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.012>

Etemadi, A., Sinha, R., Ward, M.H., Graubard, B.I., Inoue-Choi, M., Dawsey, S.M., Abnet, C.C., 2017. Mortality from different causes associated with meat, heme iron, nitrates, and nitrites in the NIH-AARP Diet and Health Study: population based cohort study. *BMJ* 357, j1957. <https://doi.org/10.1136/bmj.j1957>

Experton, C., Le Bouquin, S., Roinsard, A., Brachet, M., Germain, K., Filliat, C., Bouy, M., Johan, G., Souillard, R., 2018. En élevage biologique des synergies entre les pratiques d'élevage et l'état de santé des animaux : approfondissement en poulets de chair. *Innovations Agronomiques* 63, 71–86. <https://doi.org/10.15454/1.5191147043310452E12>

Fagan, J., Bohlen, L., Patton, S., Klein, K., 2020. Organic diet intervention significantly reduces urinary glyphosate levels in U.S. children and adults. *Environ Res* 189, 109898. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109898>

Fagerstedt, S., Hesla, H.M., Ekhager, E., Rosenlund, H., Mie, A., Benson, L., Scheynius, A., Alm, J., 2016. Anthroposophic lifestyle is associated with a lower incidence of food allergen sensitization in early childhood. *J Allergy Clin Immunol* 137, 1253–1256.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.11.009>

Fantke, P., 2019. Modelling the environmental impacts of pesticides in agriculture, in: *Assessing the Environmental Impact of Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2018.0044.08>

Fantke, P., Joliet, O., 2016. Life cycle human health impacts of 875 pesticides. *Int J Life Cycle Assess* 21, 722–733. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0910-y>

Fardet, A., 2017. L'effet matrice des aliments, un nouveau concept. *Pratiques en nutrition* 13, 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.pranut.2017.09.009>

Fardet, A., Christodoulou, A., Davidou, S., Rock, E., 2021. Ultra-processing also negatively affects organic foods: which solutions?

FIBL, 2021. Durabilité et qualité des aliments biologiques.

Fiolet, T., Srour, B., Sellem, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Deschasaux, M., Fassier, P., Latino-Martel, P., Beslay, M., Hercberg, S., Lavalette, C., Monteiro, C.A., Julia, C., Touvier, M., 2018. Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Santé prospective cohort. *BMJ* 360, k322. <https://doi.org/10.1136/bmj.k322>

Filol C, Oleko A, Gane J, Saoudi A, Zeghnoun A. Imprégnation de la population française par le cuivre. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France, 2021. 31 p

Fossler, C.P., Wells, S.J., Kaneene, J.B., Ruegg, P.L., Warnick, L.D., Eberly, L.E., Godden, S.M., Halbert, L.W., Campbell, A.M., Bolin, C.A., Zwald, A.M.G., 2005. Cattle and environmental sample-level factors associated with the presence of *Salmonella* in a multi-state study of conventional and organic dairy farms. *Prev Vet Med* 67, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.10.005>

FranceAgrimer, 2012. Enquête sur les types de farines - Année 2010.

Froger, C., Jolivet, C., Budzinski, H., Pierdet, M., Caria, G., Saby, N.P.A., Arrouays, D., Bispo, A., 2023. Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence. *Environ. Sci. Technol.* 57, 7818–7827. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09591>

Fuller, R., Landrigan, P.J., Balakrishnan, K., Bathan, G., Bose-O'Reilly, S., Brauer, M., Caravanos, J., Chiles, T., Cohen, A., Corra, L., Cropper, M., Ferraro, G., Hanna, J., Hanrahan, D., Hu, H., Hunter, D., Janata, G., Kupka, R., Lanphear, B., Lichtveld, M., Martin, K., Mustapha, A., Sanchez-Triana, E., Sandilya, K., Schaeffli, L., Shaw, J., Seddon, J., Suk, W., Téllez-Rojo, M.M., Yan, C., 2022. Pollution and health: a progress update. *The Lancet Planetary Health* 6, e535–e547. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)

Garvey, M., 2019. Food pollution: a comprehensive review of chemical and biological sources of food contamination and impact on human health. *Nutrire* 44, 1. <https://doi.org/10.1186/s41110-019-0096-3>

Gauvreau-Béziat, A., Ménard, C., Volatier, J.-L., 2019. Bilan et évolution de l'utilisation des additifs dans les produits transformés - OQALI 2019.

Gentil, C., Spinosi, J., Cahour, L., 2018. Évaluation des expositions professionnelles aux pesticides utilisés dans la culture de la banane aux Antilles et description de leurs effets sanitaires : Projet Matphyto DOM.

Glibowski, P., 2020. Organic food and health. *Rocz Panstw Zakl Hig* 71, 131–136. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2020.0110>

Glorennec, P., Serrano, T., Fravallo, M., Warembourg, C., Monfort, C., Cordier, S., Viel, J.-F., Le Gléau, F., Le Bot, B., Chevrier, C., 2017. Determinants of children's exposure to pyrethroid insecticides in western France. *Environment International* 104, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.04.007>

Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., Groneberg, D.A., 2006. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 1, 22. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>

Goetzke, B., Nitzko, S., Spiller, A., 2014. Consumption of organic and functional food. A matter of well-being and health? *Appetite* 77, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.02.012>

Gomiero, T., 2021. Chapter 2 - Organic agriculture: impact on the environment and food quality, in: Galanakis, C.M. (Ed.), *Environmental Impact of Agro-Food Industry and Food Consumption*. Academic Press, pp. 31–58. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821363-6.00002-3>

Gomiero, T., 2018. Food quality assessment in organic vs. conventional agricultural produce: Findings and issues. *Applied Soil Ecology, HUMUSICA 3 - Reviews, Applications, Tools* 123, 714–728. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.014>

Gosling, C.J., Goncalves, A., Ehrminger, M., Valliant, R., 2021. Association of organic food consumption with obesity in a nationally representative sample. *Br J Nutr* 125, 703–711. <https://doi.org/10.1017/S0007114520003189>

Grant, C.A., 2015. Influence of Phosphate Fertilizer on Cadmium in Agricultural Soils and Crops, in: *Phosphate in Soils*. CRC Press.

Grau, D., Grau, N., Gascuel, Q., Paroissin, C., Stratonovitch, C., Lairon, D., Devault, D.A., Di Cristofaro, J., 2022. Quantifiable urine glyphosate levels detected in 99% of the French population, with higher values in men, in younger people, and in farmers. *Environ Sci Pollut Res Int* 29, 32882–32893. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18110-0>

Guasch-Ferré, M., Babio, N., Martínez-González, M.A., Corella, D., Ros, E., Martín-Peláez, S., Estruch, R., Arós, F., Gómez-Gracia, E., Fiol, M., Santos-Lozano, J.M., Serra-Majem, L., Bulló, M., Toledo, E., Barragán, R., Fitó, M., Gea, A., Salas-Salvadó, J., 2015. Dietary fat intake and risk of cardiovascular disease and all-cause mortality in a population at high risk of cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 102, 1563–1573. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.116046>

Gücükoğlu, A., Çadirci, Ö., Terzi Gülel, G., Uyanik, T., Kanat, S., 2020. Organik Tavuk Etlerinden İzole Edilen *Listeria monocytogenes* İzolatlarının Serotip ve Antibiyotik Direnç Profilinin Belirlenmesi. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2019.23638>

Guo, X., Ruan, Y., Li, Z., Li, D., 2019. Flavonoid subclasses and type 2 diabetes mellitus risk: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, 2850–2862. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1476964>

Gupta, S., Hawk, T., Aggarwal, A., Drewnowski, A., 2019. Characterizing Ultra-Processed Foods by Energy Density, Nutrient Density, and Cost. *Frontiers in Nutrition* 6.

Hardy, E.M., Dereumeaux, C., Guldner, L., Briand, O., Vandentorren, S., Oleko, A., Zaros, C., Appenzeller, B.M.R., 2021. Hair versus urine for the biomonitoring of pesticide exposure: Results from a pilot cohort study on pregnant women. *Environ Int* 152, 106481. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106481>

He, K., Du, S., Xun, P., Sharma, S., Wang, H., Zhai, F., Popkin, B., 2011. Consumption of monosodium glutamate in relation to incidence of overweight in Chinese adults: China Health and Nutrition Survey (CHNS). *Am J Clin Nutr* 93, 1328–1336. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.008870>

Hennessy, D., Delaby, L., van den Pol-van Dasselaar, A., Shalloo, L., 2020. Increasing Grazing in Dairy Cow Milk Production Systems in Europe. *Sustainability* 12, 2443. <https://doi.org/10.3390/su12062443>

Hernández, A.F., Parrón, T., Tsatsakis, A.M., Requena, M., Alarcón, R., López-Guarnido, O., 2013. Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: their relevance to human health. *Toxicology* 307, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.06.009>

Heuer, O.E., Pedersen, K., Andersen, J.S., Madsen, M., 2001. Prevalence and antimicrobial susceptibility of thermophilic *Campylobacter* in organic and conventional broiler flocks. *Lett Appl Microbiol* 33, 269–274. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2001.00994.x>

Hoffman, J.B., Hennig, B., 2017. Protective influence of healthful nutrition on mechanisms of environmental pollutant toxicity and disease risks. *Ann N Y Acad Sci* 1398, 99–107. <https://doi.org/10.1111/nyas.13365>

Hort, V., Nicolas, M., Minvielle, B., Maleix, C., Desbourdes, C., Hommet, F., Dragacci, S., Dervilly-Pinel, G., Engel, E., Guérin, T., 2018. Ochratoxin A determination in swine muscle and liver from French conventional or organic farming production systems. *Journal of Chromatography B - Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences* 1092, 131. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.05.040>

Hoogenboom, L. a. P., Bokhorst, J.G., Northolt, M.D., van de Vijver, L.P.L., Broex, N.J.G., Mevius, D.J., Meijs, J. a. C., Van der Roest, J., 2008. Contaminants and microorganisms in Dutch organic food products: a comparison with conventional products. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 25, 1195–1207. <https://doi.org/10.1080/02652030802014930>

Hort, V., Nicolas, M., Minvielle, B., Maleix, C., Desbourdes, C., Hommet, F., Dragacci, S., Dervilly-Pinel, G., Engel, E., Guérin, T., 2018. Ochratoxin A determination in swine muscle and liver from French conventional or organic farming production systems. *Journal of Chromatography B* 1092, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.05.040>

Hosseini, F., Majidi, M., Naghshi, S., Sheikhhossein, F., Djafarian, K., Shab-Bidar, S., 2021. Nitrate-nitrite exposure through drinking water and diet and risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Clinical Nutrition* 40, 3073–3081. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.010>

Huc, L., Jouzel, J.-N., 2021. L'évaluation des risques des pesticides : entre savoir réglementaire et science académique: *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* N° 104, 28–31. <https://doi.org/10.3917/re1.104.0028>

- Hunter, D., Foster, M., McArthur, J.O., Ojha, R., Petocz, P., Samman, S., 2011. Evaluation of the Micronutrient Composition of Plant Foods Produced by Organic and Conventional Agricultural Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51, 571–582. <https://doi.org/10.1080/10408391003721701>
- Huppertz, T., Peters, S., Gerritsen, J., 2019. Processed foods and NOVA-classification: the balance between safety and health 2019, 1–4.
- IARC, 2023. Aspartame hazard and risk assessment results released, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- IARC, 2012a. Cadmium and cadmium compounds.
- IARC, 2012b. Some Chemicals Present in Industrial and Consumer Products, Food and Drinking-water, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- IARC, 2010. Ingested Nitrate and Nitrite, and Cyanobacterial Peptide Toxins, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- IARC, 1993. Cadmium and Cadmium Compounds (IARC Summary & Evaluation, Volume 58, [WWW Document], n.d. URL <https://incchem.org/documents/iarc/vol58/mono58-2.html> (accessed 8.28.24).
- INSERM, 2013. Pesticides : Effets sur la santé · Inserm, La science pour la santé.
- Irwin, S.V., Fisher, P., Graham, E., Malek, A., Robidoux, A., 2017. Sulfites inhibit the growth of four species of beneficial gut bacteria at concentrations regarded as safe for food. *PLoS One* 12, e0186629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186629>
- Isaksen, I.M., Dankel, S.N., 2023. Ultra-processed food consumption and cancer risk: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition* 42, 919–928. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.03.018>
- Jacobs, D.R., Tapsell, L.C., 2013. Food synergy: the key to a healthy diet. *Proceedings of the Nutrition Society* 72, 200–206. <https://doi.org/10.1017/S0029665112003011>
- Jiang, B., Pang, J., Li, J., Mi, L., Ru, D., Feng, J., Li, X., Zhao, A., Cai, L., 2023. The effects of organic food on human health: a systematic review and meta-analysis of population-based studies. *Nutrition Reviews* nuad124. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuad124>
- Jones, D.R., Anderson, K.E., Guard, J.Y., 2012. Prevalence of coliforms, *Salmonella*, *Listeria*, and *Campylobacter* associated with eggs and the environment of conventional cage and free-range egg production. *Poult Sci* 91, 1195–1202. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01795>
- Jones, M.S., Fu, Z., Reganold, J.P., Karp, D.S., Besser, T.E., Tylanakis, J.M., Snyder, W.E., 2019. Organic farming promotes biotic resistance to foodborne human pathogens. *Journal of Applied Ecology* 56, 1117–1127. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13365>
- Joubran, A.M., Pierce, K.M., Garvey, N., Shalloo, L., O'Callaghan, T.F., 2021. Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *Journal of Dairy Science* 104, 7364–7382. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19776>
- Julia, C., Martinez, L., Allès, B., Touvier, M., Hercberg, S., Méjean, C., Kesse-Guyot, E., 2018. Contribution of ultra-processed foods in the diet of adults from the French NutriNet-Santé study. *Public Health Nutr* 21, 27–37. <https://doi.org/10.1017/S1368980017001367>
- Julvez, J., López-Vicente, M., Warembourg, C., Maitre, L., Philippat, C., Gützkow, K.B., Guxens, M., Evandt, J., Andrusaityte, S., Burgaleta, M., Casas, M., Chatzi, L., de Castro, M., Donaire-González, D., Gražulevičienė, R., Hernandez-Ferrer, C., Heude, B., Mceachan, R., Mon-Williams, M., Nieuwenhuijsen, M., Robinson, O., Sakhi, A.K., Sebastian-Galles, N., Slama, R., Sunyer, J., Tamayo-Uribe, I., Thomsen, C., Urquiza, J., Vafeiadi, M., Wright, J., Basagaña, X., Vrijheid, M., 2021. Early life multiple exposures and child cognitive function: A multi-centric birth cohort study in six European countries. *Environ Pollut* 284, 117404. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117404>
- Kayode, O.T., Bello, J.A., Oguntola, J.A., Kayode, A.A.A., Olukoya, D.K., 2023. The interplay between monosodium glutamate (MSG) consumption and metabolic disorders. *Heliyon* 9, e19675. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19675>
- Kesse-Guyot, E., Lairon, D., Allès, B., Seconda, L., Rebouillat, P., Brunin, J., Vidal, R., Taupier-Letage, B., Galan, P., Amiot, M.-J., Péneau, S., Touvier, M., Boizot-Santai, C., Ducros, V., Soler, L.-G., Cravedi, J.-P., Debrauwer, L., Hercberg, S., Langevin, B., Pointereau, P., Baudry, J., 2022. Key Findings of the French BioNutriNet Project on Organic Food-Based Diets: Description, Determinants, and Relationships to Health and the Environment. *Advances in Nutrition* 13, 208–224. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab105>
- Kesse-Guyot, E., Péneau, S., Méjean, C., Szabo de Edelenyi, F., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., 2013. Profiles of organic food consumers in a large sample of French adults: results from the Nutrinet-Santé cohort study. *PLoS One* 8, e76998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076998>
- Kesse-Guyot, E., Rebouillat, P., Payrastra, L., Allès, B., Fezeu, L.K., Druet-Pecollo, N., Srour, B., Bao, W., Touvier, M., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Baudry, J., 2020. Prospective association between organic food consumption and the risk of type 2 diabetes: findings from the NutriNet-Santé cohort study. *Int J Behav Nutr Phys Act* 17, 136. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-01038-y>
- Khodavandi, A., Alizadeh, F., Razis, A.F.A., 2020. Association between dietary intake and risk of ovarian cancer: a systematic review and meta-analysis | *European Journal of Nutrition*. *Eur J Nutr* 60, 1707–1736. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00394-020-02332-y>
- Kirchhübel, N., Fantke, P., 2019. Getting the chemicals right: Toward characterizing toxicity and ecotoxicity impacts of inorganic substances. *Journal of Cleaner Production* 227, 554–565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.204>
- Kongtip, P., Nankongnab, N., Tipayamongkhogul, M., Bunngamchairat, A., Yimsabai, J., Pataitonthong, A., Woskie, S., 2018. A Cross-Sectional Investigation of Cardiovascular and Metabolic Biomarkers among Conventional and Organic Farmers in Thailand. *Int J Environ Res Public Health* 15, 2590. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112590>
- Lamas, B., Martins Breyner, N., Malaisé, Y., Wulczynski, M., Galipeau, H.J., Gaultier, E., Cartier, C., Verdu, E.F., Houdeau, E., 2024. Evaluating the Effects of Chronic Oral Exposure to the Food Additive Silicon Dioxide on Oral Tolerance Induction and Food Sensitivities in Mice. *Environmental Health Perspectives* 132, 027007. <https://doi.org/10.1289/EHP12758>
- Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N.N., Baldé, A.B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J.I., Breyse, P.N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A.M., Cropper, M.L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., Hunter, D., Khare, M., Krupnick, A., Lanphear, B., Lohani, B., Martin, K., Mathiasen, K.V., McTeer, M.A., Murray, C.J.L., Ndahimananjara, J.D., Perera, F., Potočník, J., Preker, A.S., Ramesh, J., Rockström, J., Salinas, C., Samson, L.D., Sandilya, K., Sly, P.D., Smith, K.R., Steiner, A., Stewart, R.B., Suk, W.A., van Schayck, O.C.P., Yadama, G.N., Yumkella, K., Zhong, M., 2018. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet* 391, 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

- Lane, M.M., Davis, J.A., Beattie, S., Gómez-Donoso, C., Loughman, A., O'Neil, A., Jacka, F., Berk, M., Page, R., Marx, W., Rocks, T., 2021. Ultraprocessed food and chronic noncommunicable diseases: A systematic review and meta-analysis of 43 observational studies. *Obesity Reviews* 22, e13146. <https://doi.org/10.1111/obr.13146>
- Lane, M.M., Gamage, E., Du, S., Ashtree, D.N., McGuinness, A.J., Gauci, S., Baker, P., Lawrence, M., Rebholz, C.M., Srour, B., Touvier, M., Jacka, F.N., O'Neil, A., Segasby, T., Marx, W., 2024. Ultra-processed food exposure and adverse health outcomes: umbrella review of epidemiological meta-analyses. *BMJ* e077310. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077310>
- Lau, K., McLean, W.G., Williams, D.P., Howard, C.V., 2006. Synergistic Interactions between Commonly Used Food Additives in a Developmental Neurotoxicity Test. *Toxicological Sciences* 90, 178–187. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfj073>
- Laura, A., Arianna, G., Francesca, C., Carlo, C., Carla, M., Giampaolo, R., 2019. Hypersensitivity reactions to food and drug additives: problem or myth? *Acta Biomed* 90, 80–90. <https://doi.org/10.23750/abm.v90i3-S.8168>
- Lebailly, P., Bouchart, V., Baldi, I., Lecluse, Y., Heutte, N., Gislard, A., Malas, J.-P., 2009. Exposure to Pesticides in Open-field Farming in France. *The Annals of Occupational Hygiene* 53, 69–81. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men072>
- Leifert, C., Ball, K., Volakakis, N., Cooper, J.M., 2008. Control of enteric pathogens in ready-to-eat vegetable crops in organic and “low input” production systems: a HACCP-based approach. *J Appl Microbiol* 105, 931–950. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03794.x>
- Linehan, K., Patangia, D.V., Ross, R.P., Stanton, C., 2024. Production, Composition and Nutritional Properties of Organic Milk: A Critical Review. *Foods* 13, 550. <https://doi.org/10.3390/foods13040550>
- Louzada, M.L. da C., Baraldi, L.G., Steele, E.M., Martins, A.P.B., Canella, D.S., Moubarac, J.-C., Levy, R.B., Cannon, G., Afshin, A., Imamura, F., Mozaffarian, D., Monteiro, C.A., 2015. Consumption of ultra-processed foods and obesity in Brazilian adolescents and adults. *Prev Med* 81, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.07.018>
- Louzada, M.L. da C., Ricardo, C.Z., Steele, E.M., Levy, R.B., Cannon, G., Monteiro, C.A., 2018. The share of ultra-processed foods determines the overall nutritional quality of diets in Brazil. *Public Health Nutrition* 21, 94–102. <https://doi.org/10.1017/S1368980017001434>
- Lu, C., Toepel, K., Irish, R., Fenske, R.A., Barr, D.B., Bravo, R., 2006. Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides. *Environ Health Perspect* 114, 260–263. <https://doi.org/10.1289/ehp.8418>
- Lucas, C.D., Hallagan, J.B., Taylor, S.L., 2001. The role of natural color additives in food allergy. *Adv Food Nutr Res* 43, 195–216. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(01\)43005-1](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(01)43005-1)
- Lücke, F.-K., 2017. Microbiological safety of organic and conventional foods. Presented at the Baltic Conference on Food Science and Technology FOODBALT “Food for consumer well-being.” <https://doi.org/10.22616/foodbalt.2017.003>
- Ludwig-Borycz, E., Guyer, H.M., Aljhdali, A.A., Baylin, A., 2021. Organic food consumption is associated with inflammatory biomarkers among older adults. *Public Health Nutr* 24, 4603–4613. <https://doi.org/10.1017/S1368980020005236>
- Luiten, C.M., Steenhuis, I.H., Eyles, H., Mhurchu, C.N., Waterlander, W.E., 2016. Ultra-processed foods have the worst nutrient profile, yet they are the most available packaged products in a sample of New Zealand supermarkets. *Public Health Nutrition* 19, 530–538. <https://doi.org/10.1017/S1368980015002177>
- Lukowicz, C., Ellero-Simatos, S., Régnier, M., Polizzi, A., Lasserre, F., Montagner, A., Lippi, Y., Jamin, E.L., Martin, J.-F., Naylies, C., Canlet, C., Debrauwer, L., Bertrand-Michel, J., Al Saati, T., Théodorou, V., Loiseau, N., Mselli-Lakhal, L., Guillou, H., Gamet-Payrastré, L., 2018. Metabolic Effects of a Chronic Dietary Exposure to a Low-Dose Pesticide Cocktail in Mice: Sexual Dimorphism and Role of the Constitutive Androstane Receptor. *Environ Health Perspect* 126, 067007. <https://doi.org/10.1289/EHP2877>
- Machate, O., Schmeller, D.S., Loyau, A., Paschke, A., Krauss, M., Carmona, E., Schulze, T., Moyer, A., Lutz, K., Brack, W., 2022. Complex chemical cocktail, containing insecticides diazinon and permethrin, drives acute toxicity to crustaceans in mountain lakes. *Sci Total Environ* 828, 154456. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154456>
- Makris, K.C., Konstantinou, C., Andrianou, X.D., Charisiadis, P., Kyriacou, A., Gribble, M.O., Christophi, C.A., 2019. 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* 14, e0219420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219420>
- Mancini, M., Hémon, D., de Crouy-Chanel, P., Guldner, L., Faure, L., Clavel, J., Goujon, S., 2023. Association between Residential Proximity to Viticultural Areas and Childhood Acute Leukemia Risk in Mainland France: GEOCAP Case-Control Study, 2006–2013. *Environmental Health Perspectives* 131, 107008. <https://doi.org/10.1289/EHP12634>
- Manuelian, C.L., Vigolo, V., Burbi, S., Righi, F., Simoni, M., De Marchi, M., 2022. Detailed comparison between organic and conventional milk from Holstein-Friesian dairy herds in Italy. *Journal of Dairy Science* 105, 5561–5572. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21465>
- Marano, F., Squinazi, F., 2022. Les risques émergents en santé-environnement : quelles évolutions depuis 15 ans ? *ADSP* 120, 14–16.
- Marion-Letellier, R., Amamou, A., Savoye, G., Ghosh, S., 2019. Inflammatory Bowel Diseases and Food Additives: To Add Fuel on the Flames! *Nutrients* 11, 1111. <https://doi.org/10.3390/nu11051111>
- Martelli, F., Hernandez, N.H., Zuo, Z., Wang, J., Wong, C.-O., Karagas, N.E., Roessner, U., Rupasinghe, T., Robin, C., Venkatachalam, K., Perry, T., Batterham, P., Bellen, H.J., 2022. Low doses of the organic insecticide spinosad trigger lysosomal defects, elevated ROS, lipid dysregulation, and neurodegeneration in flies. *Elife* 11, e73812. <https://doi.org/10.7554/eLife.73812>
- Martini, D., Godos, J., Bonaccio, M., Vitaglione, P., Grosso, G., 2021. Ultra-Processed Foods and Nutritional Dietary Profile: A Meta-Analysis of Nationally Representative Samples. *Nutrients* 13, 3390. <https://doi.org/10.3390/nu13103390>
- McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., Kitchin, E., Lok, K., Porteous, L., Prince, E., Sonuga-Barke, E., Warner, J.O., Stevenson, J., 2007. Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. *The Lancet* 370, 1560–1567. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61306-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61306-3)
- McCarty, M.F., DiNicolantonio, J.J., 2014. The molecular biology and pathophysiology of vascular calcification. *Postgrad Med* 126, 54–64. <https://doi.org/10.3810/pgm.2014.03.2740>
- McCord, G.C., Bharadwaj, P., McDougal, L., Kaushik, A., Raj, A., 2023. Long-term health and human capital effects of in utero exposure to an industrial disaster: a spatial difference-in-differences analysis of the Bhopal gas tragedy. *BMJ Open* 13, e066733. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-066733>

- McEntaggart, K., Chirico, S., Etienne, J., Rigoni, M., Papoutsis, S., Leather, J., 2019. EU Insights Chemical mixtures awareness, understanding and risk perceptions. EFSA Supporting Publications 16, 1602E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.EN-1602>
- Meadows, A.D., Swanson, S.A., Galligan, T.M., Naidenko, O.V., O'Connell, N., Perrone-Gray, S., Leiba, N.S., 2021. Packaged Foods Labeled as Organic Have a More Healthful Profile Than Their Conventional Counterparts, According to Analysis of Products Sold in the U.S. in 2019–2020. *Nutrients* 13, 3020. <https://doi.org/10.3390/nu13093020>
- Medina-Reyes, E.I., Rodríguez-Ibarra, C., Déciga-Alcaraz, A., Díaz-Urbina, D., Chirino, Y.I., Pedraza-Chaverri, J., 2020. Food additives containing nanoparticles induce gastrototoxicity, hepatotoxicity and alterations in animal behavior: The unknown role of oxidative stress. *Food and Chemical Toxicology* 146, 111814. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111814>
- Meemken, E.-M., Qaim, M., 2018. Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annual Review of Resource Economics* 10, 39–63. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252>
- Mesnage, R., Antoniou, M.N., 2017. Ignoring Adjuvant Toxicity Falsifies the Safety Profile of Commercial Pesticides. *Front Public Health* 5, 361. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00361>
- Mesnage, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., Séralini, G.E., 2015. Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits. *Food Chem Toxicol* 84, 133–153. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.08.012>
- Mesnage, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., Séralini, G.-E., 2014. Major pesticides are more toxic to human cells than their declared active principles. *Biomed Res Int* 2014, 179691. <https://doi.org/10.1155/2014/179691>
- Mesnage, R., Benbrook, C., Antoniou, M.N., 2019. Insight into the confusion over surfactant co-formulants in glyphosate-based herbicides. *Food and Chemical Toxicology* 128, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.053>
- Mie, A., Andersen, H.R., Gunnarsson, S., Kahl, J., Kesse-Guyot, E., Rembiałkowska, E., Quaglio, G., Grandjean, P., 2017. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environmental Health* 16, 111. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0315-4>
- Monteiro, C., Cannon, G., Lawrence, M., Louzada, M.L., Machado, P., 2019. FAO. Ultra-processed foods, diet quality, and health using the NOVA classification system.
- Monteiro, C., Levy, R., Claro, R., de Castro, I.R., Cannon, G., 2010. A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cadernos de Saúde Pública* 26, 2039–2049. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2010001100005>
- Mossa, A.-T.H., Mohafrash, S.M.M., Chandrasekaran, N., 2018. Safety of Natural Insecticides: Toxic Effects on Experimental Animals. *Biomed Res Int* 2018, 4308054. <https://doi.org/10.1155/2018/4308054>
- Mottes, C., Lesueur Jannoyer, M., Le Bail, M., Guéné, M., Carles, C., Malézieux, E., 2017. Relationships between past and present pesticide applications and pollution at a watershed outlet: The case of a horticultural catchment in Martinique, French West Indies. *Chemosphere* 184, 762–773. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.061>
- Moubarac, J.-C., Batal, M., Louzada, M.L., Martinez Steele, E., Monteiro, C.A., 2017. Consumption of ultra-processed foods predicts diet quality in Canada. *Appetite* 108, 512–520. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.006>
- Moubarac, J.-C., Batal, M., Martins, A.P.B., Claro, R., Levy, R.B., Cannon, G., Monteiro, C., 2014. Processed and Ultra-processed Food Products: Consumption Trends in Canada from 1938 to 2011. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research* 75, 15–21. <https://doi.org/10.3148/75.1.2014.15>
- Mugnai, D., Sossidou, E., Bosco, A., Ruggeri, S., Mattioli, S., Castellini, C., 2014. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. *Journal of the science of food and agriculture* 94. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6269>
- Murali, A.P., Trzaskowska, M., Trafialek, J., 2023. Microorganisms in Organic Food-Issues to Be Addressed. *Microorganisms* 11, 1557. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061557>
- Murray, C.J.L., Ikuta, K.S., Sharara, F., Swetschinski, L., Robles Aguilar, G., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S.C., Browne, A.J., Chipeta, M.G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B.H., Kumaran, E.A.P., McManigal, B., Achalapong, S., Agarwal, R., Akech, S., Albertson, S., Amuasi, J., Andrews, J., Aravkin, A., Ashley, E., Babin, F.-X., Bailey, F., Baker, S., Basnyat, B., Bekker, A., Bender, R., Berkley, J.A., Bethou, A., Bielicki, J., Boonkasidecha, S., Bukosia, J., Carvalho, C., Castañeda-Orjuela, C., Chansamouth, V., Chaurasia, S., Chiurchiu, S., Chowdhury, F., Clotaire Donatien, R., Cook, A.J., Cooper, B., Cressey, T.R., Criollo-Mora, E., Cunningham, M., Darboe, S., Day, N.P.J., De Luca, M., Dokova, K., Dramowski, A., Dunachie, S.J., Duong Bich, T., Eckmanns, T., Eibach, D., Emami, A., Feasey, N., Fisher-Pearson, N., Forrest, K., Garcia, C., Garrett, D., Gastmeier, P., Giref, A.Z., Greer, R.C., Gupta, V., Haller, S., Haselbeck, A., Hay, S.I., Holm, M., Hopkins, S., Hsia, Y., Iregbu, K.C., Jacobs, J., Jarovsky, D., Javanmardi, F., Jenney, A.W.J., Khorana, M., Khusuwan, S., Kissoon, N., Kobeissi, E., Kostyanov, T., Krapp, F., Krumkamp, R., Kumar, A., Kyu, H.H., Lim, C., Lim, K., Limmathurotsakul, D., Loftus, M.J., Lunn, M., Ma, J., Manoharan, A., Marks, F., May, J., Mayxay, M., Mturi, N., Munera-Huertas, T., Musicha, P., Musila, L.A., Mussi-Pinhata, M.M., Naidu, R.N., Nakamura, T., Nanavati, R., Nangia, S., Newton, P., Ngoun, C., Novotney, A., Nwakanma, D., Obiero, C.W., Ochoa, T.J., Olivas-Martinez, A., Olliaro, P., Ooko, E., Ortiz-Brizuela, E., Ounchanum, P., Pak, G.D., Paredes, J.L., Peleg, A.Y., Perrone, C., Phe, T., Phommason, K., Plakkal, N., Ponce-de-Leon, A., Raad, M., Ramdin, T., Rattanavong, S., Riddell, A., Roberts, T., Robotham, J.V., Roca, A., Rosenthal, V.D., Rudd, K.E., Russell, N., Sader, H.S., Saengchan, W., Schnall, J., Scott, J.A.G., Seekaew, S., Sharland, M., Shivamallappa, M., Sifuentes-Osorio, J., Simpson, A.J., Steenkeste, N., Stewardson, A.J., Stoeva, T., Tasak, N., Thaiprakong, A., Thwaites, G., Tigoi, C., Turner, C., Turner, P., Van Doorn, H.R., Velaphi, S., Vongpradith, A., Vongsouvath, M., Vu, H., Walsh, T., Watson, J.L., Waner, S., Wangrangsamakul, T., Wannapinij, P., Wozniak, T., Young Sharma, T.E.M.W., Yu, K.C., Zheng, P., Sartorius, B., Lopez, A.D., Stergachis, A., Moore, C., Dolecek, C., Naghavi, M., 2022. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet* 399, 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Myles, I.A., Beakes, D., 2009. An Allergy to Goldfish? Highlighting Labeling Laws for Food Additives. *World Allergy Organization Journal* 2, 314–316. <https://doi.org/10.1097/WOX.0b013e3181c5be33>
- Naimi, S., Viennois, E., Gewirtz, A.T., Chassaing, B., 2021. Direct impact of commonly used dietary emulsifiers on human gut microbiota. *Microbiome* 9, 66. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00996-6>
- Nassar, C., Boulanger, M., Lecluse, Y., Renier, M., Tual, S., Lebaillay, P., Baldi, I., group, A., Clin, B., 2023. CO9.1 - Cancer du rein et exposition aux fongicides mitotoxiques (SDHI et strobilurines) dans la cohorte AGRiculture et CANcer (AGRICAN). *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, EPICLIN 202317e Conférence francophone d'Épidémiologie Clinique30e Journées des statisticiens des Centres de Lutte contre le Cancer* 71, 101625. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2023.101625>
- Nigg, J.T., Lewis, K., Edinger, T., Falk, M., 2012. Meta-analysis of attention-deficit/hyperactivity disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms, restriction diet, and synthetic food color additives. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 51, 86–97.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2011.10.015>

- Nimako, C., Ichise, T., Hasegawa, H., Akoto, O., Boadi, N.O., Taira, K., Fujioka, K., Isoda, N., Nakayama, S.M.M., Ishizuka, M., Ikenaka, Y., 2022. Assessment of ameliorative effects of organic dietary interventions on neonicotinoid exposure rates in a Japanese population. *Environ Int* 162, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107169>
- Nunan, C., 2022. Ending routine farm antibiotic use in Europe. Achieving responsible farm antibiotic use through improving animal health and welfare in pig and poultry production.
- Oates, L., Cohen, M., Braun, L., Schembri, A., Taskova, R., 2014. Reduction in urinary organophosphate pesticide metabolites in adults after a week-long organic diet. *Environmental Research* 132, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.03.021>
- Oleko A, Fillol C, Saoudi A, Zeghnoun A, Bidondo ML, Gane J, Balicco A., 2021. Imprégnation de la population française par le cadmium. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016.
- Olle, M., Williams, I.H., 2021. Organic Cultivation of Vegetables, in: Lichtfouse, E. (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* 52. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73245-5_1
- Österberg, J., Wingstrand, A., Jensen, A.N., Kerouanton, A., Cibir, V., Barco, L., Denis, M., Aabo, S., Bengtsson, B., 2016. Antibiotic Resistance in *Escherichia coli* from Pigs in Organic and Conventional Farming in Four European Countries. *PLOS ONE* 11, e0157049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157049>
- Oturan, N., Trajkovska, S., Oturan, M.A., Couderchet, M., Aaron, J.-J., 2008. Study of the toxicity of diuron and its metabolites formed in aqueous medium during application of the electrochemical advanced oxidation process “electro-Fenton.” *Chemosphere* 73, 1550–1556. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.082>
- Palma, E., Tilocca, B., Roncada, P., 2020. Antimicrobial Resistance in Veterinary Medicine: An Overview. *Int J Mol Sci* 21, 1914. <https://doi.org/10.3390/ijms21061914>
- Palupi, E., Jayanegara, A., Ploeger, A., Kahl, J., 2012. Comparison of nutritional quality between conventional and organic dairy products: a meta-analysis. *J. Sci. Food Agric.* 92, 2774–2781. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5639>
- Papadopoulou, E., Haug, L.S., Sakhi, A.K., Andrusaityte, S., Basagaña, X., Brantsaeter, A.L., Casas, M., Fernández-Barrés, S., Grazuleviciene, R., Knutsen, H.K., Maitre, L., Meltzer, H.M., McEachan, R.R.C., Roumeliotaki, T., Slama, R., Vafeiadi, M., Wright, J., Vrijheid, M., Thomsen, C., Chatzi, L., 2019. Diet as a Source of Exposure to Environmental Contaminants for Pregnant Women and Children from Six European Countries. *Environ Health Perspect* 127, 107005. <https://doi.org/10.1289/EHP5324>
- Park, Y.-M. (“Mark”), O’Brien, K., Sandler, D., 2020. Association Between Organic Food Consumption and Risk of Obesity in Women. *Current Developments in Nutrition* 4, nzaa063_065. https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa063_065
- Park, Y.-M.M., White, A., Niehoff, N., O’Brien, K., Sandler, D., 2019. Association Between Organic Food Consumption and Breast Cancer Risk: Findings from the Sister Study (P18-038-19). *Current Developments in Nutrition* 2019 Abstracts 3, nzz039.P18-038-19. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz039.P18-038-19>
- Partridge, D., Lloyd, K.A., Rhodes, J.M., Walker, A.W., Johnstone, A.M., Campbell, B.J., 2019. Food additives: Assessing the impact of exposure to permitted emulsifiers on bowel and metabolic health – introducing the FADiets study. *Nutrition Bulletin* 44, 329–349. <https://doi.org/10.1111/nbu.12408>
- Paula Neto, H.A., Ausina, P., Gomez, L.S., Leandro, J.G.B., Zancan, P., Sola-Penna, M., 2017. Effects of Food Additives on Immune Cells As Contributors to Body Weight Gain and Immune-Mediated Metabolic Dysregulation. *Front Immunol* 8, 1478. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01478>
- Pavie, J., Chambaut, H., Madeline, L., Experton, C., 2013. Evaluations et comparaisons des performances environnementales, économiques et sociales des systèmes bovins biologiques et conventionnels dans le cadre du projet CedABio. *Innovations Agronomiques* 30, 27–40. <https://doi.org/10.17180/q2m9-gq60>
- Pelletier, J.E., Laska, M.N., Neumark-Sztainer, D., Story, M., 2013. Positive attitudes toward organic, local, and sustainable foods are associated with higher dietary quality among young adults. *J Acad Nutr Diet* 113, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.08.021>
- Pesavento, G., Calonico, C., Runfola, M., Lo Nostro, A., 2017. Free-range and organic farming: Eggshell contamination by mesophilic bacteria and unusual pathogens. *Journal of Applied Poultry Research* 26, 509–517. <https://doi.org/10.3382/japr/pfx023>
- Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N., 2013. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production* 52, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007>
- Pleadin, J., Staver, M.M., Markov, K., Frece, J., Zadavec, M., Jaki, V., Krupić, I., Vahčić, N., 2017. Mycotoxins in organic and conventional cereals and cereal products grown and marketed in Croatia. *Mycotoxin Res* 33, 219–227. <https://doi.org/10.1007/s12550-017-0280-3>
- Popa, M.E., Mitelut, A.C., Popa, E.E., Stan, A., Popa, V.I., 2019. Organic foods contribution to nutritional quality and value. *Trends in Food Science & Technology, Keeping Food Safety on the Agenda for 15 years – The SAFE consortium* 84, 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.003>
- Portejoie, S., Martinez, J., Landmann, G., 2002. L’ammoniac d’origine agricole : impacts sur la santé humaine et animale et sur le milieu naturel. *INRA Prod. Anim.* 15, 151–160. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2002.15.3.3697>
- Poti, J.M., Braga, B., Qin, B., 2017. Ultra-processed Food Intake and Obesity: What Really Matters for Health—Processing or Nutrient Content? *Curr Obes Rep* 6, 420–431. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0285-4>
- Poti, J.M., Mendez, M.A., Ng, S.W., Popkin, B.M., 2015. Is the degree of food processing and convenience linked with the nutritional quality of foods purchased by US households? *The American Journal of Clinical Nutrition* 101, 1251–1262. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.100925>
- Pozzer, A., Karydis, V., Lelieveld, J., Tsimpidi, A., de Meij, A., 2017. Impact of agricultural emission reductions on fine-particulate matter and public health. *Atmospheric Chemistry and Physics* 17, 12813–12826. <https://doi.org/10.5194/acp-17-12813-2017>
- Prache, S., Lebret, B., Baéza, E., Martin, B., Gautron, J., Feidt, C., Médale, F., Corraze, G., Raulet, M., Lefèvre, F., Verrez-Bagnis, V., Sans, P., 2022. Review: Quality and authentication of organic animal products in Europe. *Animal, Quality of animal-source foods* 16, 100405. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100405>
- Prache, S., Santé-Lhoutellier, V., Adamiec, C., Astruc, T., Baéza, E., Bouillot, P.-E., Clinquart, A., Feidt, C., Fourat, E., Gautron, J., Guillier, L., Kesse-Guyot, E., Lebret, B., Lefèvre, F., Martin, B., Mirade, P.-S., Pierre, F.H.F., Remond, D., Sans, P., Souchon, I., Girard, A., Percher, S.L., Donnars, C., Raulet, M., 2020. La qualité des aliments d’origine animale selon les conditions de production et de transformation. Synthèse de l’Expertise scientifique collective (report). INRAE. <https://doi.org/10.14758/z8q2-ey12>

- Quist, A.J.L., Inoue-Choi, M., Weyer, P.J., Anderson, K.E., Cantor, K.P., Krasner, S., Freeman, L.E.B., Ward, M.H., Jones, R.R., 2018. Ingested nitrate and nitrite, disinfection by-products, and pancreatic cancer risk in postmenopausal women. *Int J Cancer* 142, 251–261. <https://doi.org/10.1002/ijc.31055>
- Ramsey, N.B., Tuano, K.T.S., Davis, C.M., Dillard, K., Hanson, C., 2016. Annatto seed hypersensitivity in a pediatric patient. *Ann Allergy Asthma Immunol* 117, 331–333. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2016.07.001>
- Rebouillat, P., Vidal, R., Cravedi, J.-P., Taupier-Letage, B., Debrauwer, L., Gamet-Payrastra, L., Guillou, H., Touvier, M., Fezeu, L.K., Hercberg, S., Lairon, D., Baudry, J., Kesse-Guyot, E., 2022. Prospective association between dietary pesticide exposure profiles and type 2 diabetes risk in the NutriNet-Santé cohort. *Environ Health* 21, 57. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00862-y>
- Rebouillat, P., Vidal, R., Cravedi, J.-P., Taupier-Letage, B., Debrauwer, L., Gamet-Payrastra, L., Touvier, M., Deschasaux-Tanguy, M., Latino-Martel, P., Hercberg, S., Lairon, D., Baudry, J., Kesse-Guyot, E., 2021. Prospective association between dietary pesticide exposure profiles and postmenopausal breast-cancer risk in the NutriNet-Santé cohort. *International Journal of Epidemiology* 50, 1184–1198. <https://doi.org/10.1093/ije/dyab015>
- Reganold, J.P., Wachter, J.M., 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nat Plants* 2, 15221. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Rembialkowska, E., 2007. Quality of plant products from organic agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 2757–2762. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3000>
- Rempelos, L., Baranski, M., Wang, J., Adams, T.N., Adebuseyi, K., Beckman, J.J., Brockbank, C.J., Douglas, B.S., Feng, T., Greenway, J.D., Gür, M., Iyaremye, E., Kong, C.L., Korkut, R., Kumar, S.S., Kwedibana, J., Masselos, J., Mutalemwa, B.N., Nkambule, B.S., Oduwole, O.B., Oladipo, A.K., Olumeh, J.O., Petrovic, L., Röhrig, N., Wyld, S.A., Xu, L., Pan, Y., Chatzidimitriou, E., Davis, H., Magistrali, A., Sufar, E., Hasanaliyeva, G., Kalee, H.H.H.A., Willson, A., Thapa, M., Davenport, P., Średnicka-Tober, D., Volakakis, N., Watson, A., Seal, C.J., Goltz, M., Kindersley, P., Iversen, P.O., Leifert, C., 2021. Integrated Soil and Crop Management in Organic Agriculture: A Logical Framework to Ensure Food Quality and Human Health? *Agronomy* 11, 2494. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122494>
- Rempelos, L., Wang, J., Barański, M., Watson, A., Volakakis, N., Hoppe, H.-W., Kühn-Velten, W.N., Hadall, C., Hasanaliyeva, G., Chatzidimitriou, E., Magistrali, A., Davis, H., Vigar, V., Średnicka-Tober, D., Rushton, S., Iversen, P.O., Seal, C.J., Leifert, C., 2022. Diet and food type affect urinary pesticide residue excretion profiles in healthy individuals: results of a randomized controlled dietary intervention trial. *Am J Clin Nutr* 115, 364–377. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab308>
- Rénésy, Christian, Leenhardt, Fanny, 2008. L'amélioration de la valeur nutritionnelle des pains bio.
- Renier, M., 2022. Exposition professionnelle agricole à des pesticides et risque de cancers de la prostate, du sein et de l'ovaire au sein de la cohorte AGRiCulture et CANcer (These de doctorat). Normandie.
- Renier, M., Hippert, J., Louis-Bastien, W., Tual, S., Meryet-Figuere, M., Vigneron, N., Marcotullio, E., Baldi, I., Lebailly, P., AGRICAN group, 2024. Agricultural exposure and risk of ovarian cancer in the AGRiCulture and CANcer (AGRICAN) cohort. *Occup Environ Med* 81, 75–83. <https://doi.org/10.1136/oemed-2023-109089>
- Ribas-Agustí, A., Diaz, I., Sarraga, C., Garcia-Regueiro, J.A., Castellari, M., 2019. Nutritional properties of organic and conventional beef meat at retail. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9652>
- Richonnet, C., Mosser, F., Favre, E., Robert, M., Martin, F., Thiebaut, I., 2022. Nutritional Quality and Degree of Processing of Children's Foods Assessment on the French Market. *Nutrients* 14, 171. <https://doi.org/10.3390/nu14010171>
- Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M.K., Mann, J., 2012. Phosphate additives in food—a health risk. *Dtsch Arztebl Int* 109, 49–55. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0049>
- Rivera-González, K.S., Beames, T.G., Lipinski, R.J., 2021. Examining the developmental toxicity of piperonyl butoxide as a Sonic hedgehog pathway inhibitor. *Chemosphere* 264, 128414. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128414>
- Rizzati, V., Briand, O., Guillou, H., Gamet-Payrastra, L., 2016. Effects of pesticide mixtures in human and animal models: An update of the recent literature. *Chemico-Biological Interactions* 254, 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2016.06.003>
- Roberts, C.L., Rushworth, S.L., Richman, E., Rhodes, J.M., 2013. Hypothesis: Increased consumption of emulsifiers as an explanation for the rising incidence of Crohn's disease. *Journal of Crohn's and Colitis* 7, 338–341. <https://doi.org/10.1016/j.crohns.2013.01.004>
- Roberts, T.L., 2014. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. *Procedia Engineering, SYMPHOS 2013 - 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry* 83, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Rodriguez, C., Mith, H., Taminiau, B., Korsak, N., Garcia-Fuentes, E., Daube, G., 2023. Microbial Food Safety Assessment of Organic Food and Feed: Notifications in the EU RASFF during 2020–2022. A Systematic Review. *Transboundary and Emerging Diseases* 2023, e6615992. <https://doi.org/10.1155/2023/6615992>
- Rolland, B., Deffains, D., Delarue, P., Gilles, S., Le Campion, A., Monnier, A., Jean-Yves-Morlais, Navier, H., Pichard, A., Walczak, P., Perronne, R., 2023. Incidence of four genera of fungi in organic and low-input farming conditions in/on the grain of bread wheat over a 13-year period in France. *Org. Agr.* 13, 503–511. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00443-4>
- Ropero, A., Borrás, F., Rodríguez, M., Beltra, M., 2023. Nutritional Description of Organic and Conventional Food Products in Spain: The BADALI Project. *Nutrients* 15. <https://doi.org/10.3390/nu15081876>
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M.Z., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int J Life Cycle Assess* 13, 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Rosenquist, H., Boysen, L., Krogh, A.L., Jensen, A.N., Nauta, M., 2013. Campylobacter contamination and the relative risk of illness from organic broiler meat in comparison with conventional broiler meat. *Int J Food Microbiol* 162, 226–230. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.01.022>
- Roth, N., Wilks, M., 2018. Combination effects of pesticide residues in food. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30899.07208>
- Sadowska, B., Sztormowska, M., Chelmińska, M., 2021. Annatto hypersensitivity after oral ingestion confirmed by placebo-controlled oral challenge. *Ann Allergy Asthma Immunol* 127, 510–511. <https://doi.org/10.1016/j.anai.2021.07.019>

- Salomé, M., Arrazat, L., Wang, J., Dufour, A., Dubuisson, C., Volatier, J.-L., Huneau, J.-F., Mariotti, F., 2021. Contrary to ultra-processed foods, the consumption of unprocessed or minimally processed foods is associated with favorable patterns of protein intake, diet quality and lower cardiometabolic risk in French adults (INCA3). *Eur J Nutr* 60, 4055–4067. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02576-2>
- Samman, S., Kung, F.P., Carter, L.M., Foster, M.J., Ahmad, Z.I., Phuyal, J.L., Petocz, P., 2009. Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs. *Food Chemistry* 116, 911–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.046>
- Sandoval-Insausti, H., Chiu, Y.-H., Lee, D.H., Wang, S., Hart, J.E., Mínguez-Alarcón, L., Laden, F., Ardisson Korat, A.V., Birmann, B., Heather Eliassen, A., Willett, W.C., Chavarro, J.E., 2021. Intake of fruits and vegetables by pesticide residue status in relation to cancer risk. *Environment International* 156, 106744. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106744>
- Sandoval-Insausti, H., Chiu, Y.-H., Wang, Y.-X., Hart, J.E., Bhupathiraju, S.N., Mínguez-Alarcón, L., Ding, M., Willett, W.C., Laden, F., Chavarro, J.E., 2022. Intake of fruits and vegetables according to pesticide residue status in relation to all-cause and disease-specific mortality: Results from three prospective cohort studies. *Environment International* 159, 107024. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107024>
- Santé Publique France, 2019. Recommandations relatives à l'alimentation, à l'activité physique et à la sédentarité pour les adultes [WWW Document]. URL <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/recommandations-relatives-a-l-alimentation-a-l-activite-physique-et-a-la-sedentarite-pour-les-adultes> (accessed 6.22.23).
- Santé Publique France, 2021. Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban), 2014-2016. Volet Nutrition. Chapitre Activité physique et sédentarité. 2e édition [WWW Document]. URL <https://www.santepubliquefrance.fr/import/etude-de-sante-sur-l-environnement-la-biosurveillance-l-activite-physique-et-la-nutrition-esteban-2014-2016-volet-nutrition-chapitre-activite> (accessed 5.30.24a).
- Santé Publique France, n.d. Imprégnation de la population française par le cadmium. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016 [WWW Document]. URL <https://www.santepubliquefrance.fr/import/impregnation-de-la-population-francaise-par-le-cadmium-programme-national-de-biosurveillance-esteban-2014-2016> (accessed 3.21.24b).
- Santé Publique France, ANSM, ANSES, DGS, 2016. Consommation d'antibiotiques et résistance aux antibiotiques en France : soyons concernés, soyons responsables.
- Sapkota, A.R., Hulet, R.M., Zhang, G., McDermott, P., Kinney, E.L., Schwab, K.J., Joseph, S.W., 2011. Lower Prevalence of Antibiotic-Resistant Enterococci on U.S. Conventional Poultry Farms that Transitioned to Organic Practices. *Environmental Health Perspectives* 119, 1622–1628. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003350>
- Sautereau, N., Benoit, M., 2017. Externalités de l'Agriculture Biologique : Quantification et chiffrages économiques?
- Schab, D.W., Trinh, N.-H.T., 2004. Do artificial food colors promote hyperactivity in children with hyperactive syndromes? A meta-analysis of double-blind placebo-controlled trials. *J Dev Behav Pediatr* 25, 423–434. <https://doi.org/10.1097/00004703-200412000-00007>
- Schleiffer, M., Speiser, B., 2022. Presence of pesticides in the environment, transition into organic food, and implications for quality assurance along the European organic food chain – A review. *Environmental Pollution* 313, 120116. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120116>
- Schwaiger, K., Schmied, E.-M.V., Bauer, J., 2010. Comparative analysis on antibiotic resistance characteristics of *Listeria* spp. and *Enterococcus* spp. isolated from laying hens and eggs in conventional and organic keeping systems in Bavaria, Germany. *Zoonoses Public Health* 57, 171–180. <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2008.01229.x>
- Schwendel, B.H., Wester, T.J., Morel, P.C.H., Tavendale, M.H., Deadman, C., Shadbolt, N.M., Otter, D.E., 2015. Invited review: Organic and conventionally produced milk—An evaluation of factors influencing milk composition. *Journal of Dairy Science* 98, 721–746. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8389>
- Seconda, L., Baudry, J., Allès, B., Hamza, O., Boizot-Szantai, C., Soler, L.-G., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Kesse-Guyot, E., 2017. Assessment of the Sustainability of the Mediterranean Diet Combined with Organic Food Consumption: An Individual Behaviour Approach. *Nutrients* 9, 61. <https://doi.org/10.3390/nu9010061>
- Sellem, L., Srour, B., Chazelas, E., Debras, C., Chassaing, B., Huybrechts, I., Pierre, F., Coumoul, X., Deschasaux, M., Touvier, M., 2022. Food additive emulsifiers and cancer risk: results from the French prospective NutriNet-Santé cohort. *European Journal of Public Health* 32. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckac129.015>
- Sellem, L., Srour, B., Javaux, G., Chazelas, E., Chassaing, B., Viennois, E., Debras, C., Druesne-Pecollo, N., Esseddik, Y., Edelenyi, F.S. de, Arnault, N., Agaësse, C., Sa, A.D., Luchia, R., Huybrechts, I., Scalbert, A., Pierre, F., Coumoul, X., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., 2024. Food additive emulsifiers and cancer risk: Results from the French prospective NutriNet-Santé cohort. *PLOS Medicine* 21, e1004338. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004338>
- Sellem, L., Srour, B., Javaux, G., Chazelas, E., Chassaing, B., Viennois, E., Debras, C., Salamé, C., Druesne-Pecollo, N., Esseddik, Y., Edelenyi, F.S. de, Agaësse, C., Sa, A.D., Luchia, R., Louveau, E., Huybrechts, I., Pierre, F., Coumoul, X., Fezeu, L.K., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M., 2023. Food additive emulsifiers and risk of cardiovascular disease in the NutriNet-Santé cohort: prospective cohort study. *BMJ* 382, e076058. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-076058>
- Seo, E.H., Kim, T.O., Kim, T.G., Joo, H.R., Park, M.J., Park, J., Park, S.H., Yang, S.Y., Moon, Y.S., 2011. Efficacy and tolerability of split-dose PEG compared with split-dose aqueous sodium phosphate for outpatient colonoscopy: a randomized, controlled trial. *Dig Dis Sci* 56, 2963–2971. <https://doi.org/10.1007/s10620-011-1772-1>
- Seralini, G.-E., Jungers, G., 2020. Toxic compounds in herbicides without glyphosate. *Food Chem Toxicol* 146, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111770>
- Shi, Z., Yuan, B., Taylor, A.W., Dai, Y., Pan, X., Gill, T.K., Wittert, G.A., 2011. Monosodium glutamate is related to a higher increase in blood pressure over 5 years: findings from the Jiangsu Nutrition Study of Chinese adults. *Journal of Hypertension* 29, 846. <https://doi.org/10.1097/HJH.0b013e328344da8e>
- Silva, V., Mol, H.G.J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C.J., Geissen, V., 2019. Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of The Total Environment* 653, 1532–1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>
- Skidmore, M.E., Sims, K.M., Gibbs, H.K., 2023. Agricultural intensification and childhood cancer in Brazil. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 120, e2306003120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2306003120>
- Slimani, N., Deharveng, G., Southgate, D. A. T., Biessy, C., Chajès, V., van Bakel, M.M.E., Boutron-Ruault, M.C., McTaggart, A., Grioni, S., Verkaik-Kloosterman, J., Huybrechts, I., Amiano, P., Jenab, M., Vignat, J., Bouckaert, K., Casagrande, C., Ferrari, P., Zourna, P., Trichopolou, A., Wirfält, E., Johansson, G., Rohrmann, S., Illner, A.-K., Barricarte, A., Rodríguez, L., Touvier, M., Niravong, M., Mulligan, A., Crowe, F., Ocké, M.C., van der Schouw, Y.T., Bendinelli, B., Lauria, C., Brustad, M., Hjartåker, A., Tjønneland, A., Jensen, A.M., Riboli, E., Bingham, S., 2009. Contribution of highly industrially processed foods to the nutrient intakes and patterns of middle-aged populations in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition study. *Eur J Clin Nutr* 63, S206–S225. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.82>

- Smith-Spangler, C., Brandeau, M.L., Hunter, G.E., Bavinger, J.C., Pearson, M., Eschbach, P.J., Sundaram, V., Liu, H., Schirmer, P., Stave, C., Olkin, I., Bravata, D.M., 2012. Are Organic Foods Safer or Healthier Than Conventional Alternatives? *Ann Intern Med* 157, 348–366. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-157-5-201209040-00007>
- Soffritti, M., Belpoggi, F., Tibaldi, E., Esposti, D.D., Lauriola, M., 2007. Life-span exposure to low doses of aspartame beginning during prenatal life increases cancer effects in rats. *Environ Health Perspect* 115, 1293–1297. <https://doi.org/10.1289/ehp.10271>
- Song, P., Wu, L., Guan, W., 2015. Dietary Nitrates, Nitrites, and Nitrosamines Intake and the Risk of Gastric Cancer: A Meta-Analysis. *Nutrients* 7, 9872–9895. <https://doi.org/10.3390/nu7125505>
- Sosnowski, M., Osek, J., 2021. Microbiological Safety of Food of Animal Origin from Organic Farms. *J Vet Res* 65, 87–92. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0015>
- Średnicka-Tober, D., Barański, M., Seal, C., Sanderson, R., Benbrook, C., Steinshamn, H., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Eyre, M., Cozzi, G., Larsen, M.K., Jordon, T., Niggli, U., Sakowski, T., Calder, P.C., Burdge, G.C., Sotiraki, S., Stefanakis, A., Yolcu, H., Stergiadis, S., Chatzidimitriou, E., Butler, G., Stewart, G., Leifert, C., 2016a. Composition differences between organic and conventional meat: a systematic literature review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition* 115, 994–1011. <https://doi.org/10.1017/S0007114515005073>
- Średnicka-Tober, D., Barański, M., Seal, C.J., Sanderson, R., Benbrook, C., Steinshamn, H., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Eyre, M., Cozzi, G., Larsen, M.K., Jordon, T., Niggli, U., Sakowski, T., Calder, P.C., Burdge, G.C., Sotiraki, S., Stefanakis, A., Stergiadis, S., Yolcu, H., Chatzidimitriou, E., Butler, G., Stewart, G., Leifert, C., 2016b. Higher PUFA and n-3 PUFA, conjugated linoleic acid, α-tocopherol and iron, but lower iodine and selenium concentrations in organic milk: a systematic literature review and meta- and redundancy analyses. *Br J Nutr* 115, 1043–1060. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000349>
- Srour, B., Chazelas, E., Druet-Pecollet, N., Esseddik, Y., Szabo de Edelenyi, F., Agaësse, C., Sa, A., Luchini, R., Debras, C., Sellem, L., Huybrechts, I., Julia, C., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Galan, P., Hercberg, S., Pierre, F., Deschasaux, M., Touvier, M., 2023. Dietary exposure to nitrites and nitrates in association with type 2 diabetes risk: Results from the NutriNet-Santé population-based cohort study. *PLoS medicine* 20, e1004149. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004149>
- Srour, B., Chazelas, E., Fezeu, L., Javaux, G., Pierre, F., Huybrechts, I., Hercberg, S., Deschasaux, M., Kesse-Guyot, E., Touvier, M., 2022. Nitrites, Nitrates, and Cardiovascular Outcomes: Are We Living “La Vie en Rose” With Pink Processed Meats? *Journal of the American Heart Association* 11. <https://doi.org/10.1161/JAHA.122.027627>
- Srour, B., Fezeu, L.K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Debras, C., Druet-Pecollet, N., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C.A., Julia, C., Touvier, M., 2020. Ultra-processed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes Among Participants of the NutriNet-Santé Prospective Cohort. *JAMA Intern Med* 180, 283–291. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.5942>
- Srour, B., Fezeu, L.K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Andrianasolo, R.M., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C.A., Julia, C., Touvier, M., 2019. Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: prospective cohort study (NutriNet-Santé). *BMJ* 365, 11451. <https://doi.org/10.1136/bmj.11451>
- Sterckeman, T., Gossiaux, L., Guimont, S., Sirguy, C., Lin, Z., 2018. Cadmium mass balance in French soils under annual crops: Scenarios for the next century. *Science of The Total Environment* 639, 1440–1452. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.225>
- Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaiss, C.A., Maza, O., Israeli, D., Zmora, N., Gilad, S., Weinberger, A., Kuperman, Y., Harmelin, A., Kolodkin-Gal, I., Shapiro, H., Halpern, Z., Segal, E., Elinav, E., 2014. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature* 514, 181–186. <https://doi.org/10.1038/nature13793>
- Sun, Y., Liu, B., Du, Y., Snetselaar, L.G., Sun, Q., Hu, F.B., Bao, W., 2018. Inverse Association between Organic Food Purchase and Diabetes Mellitus in US Adults. *Nutrients* 10, 1877. <https://doi.org/10.3390/nu10121877>
- Tabar, A.I., Acero, S., Arregui, C., Urdanoz, M., Quirce, S., 2003. [Asthma and allergy due to carmine dye]. *An Sist Sanit Navar* 26 Suppl 2, 65–73.
- Tamang, M.D., Gurung, M., Nam, H.-M., Moon, D.C., Kim, S.-R., Jang, G.-C., Jung, D.-Y., Jung, S.-C., Park, Y.-H., Lim, S.-K., 2015. Prevalence and characterization of Salmonella in pigs from conventional and organic farms and first report of S. serovar 1,4,[5],12:i:- from Korea. *Vet Microbiol* 178, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2015.05.005>
- Tang, K.L., Caffrey, N.P., Nóbrega, D.B., Cork, S.C., Ronksley, P.E., Barkema, H.W., Polachek, A.J., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J.D., Ghali, W.A., 2017. Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health* 1, e316–e327. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30141-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30141-9)
- Tang, W.H.W., Wang, Z., Levison, B.S., Koeth, R.A., Britt, E.B., Fu, X., Wu, Y., Hazen, S.L., 2013. Intestinal microbial metabolism of phosphatidylcholine and cardiovascular risk. *N Engl J Med* 368, 1575–1584. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1109400>
- Thakur, S., Gebreyes, W.A., 2005. Prevalence and antimicrobial resistance of Campylobacter in antimicrobial-free and conventional pig production systems. *J Food Prot* 68, 2402–2410. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.11.2402>
- Togawa, K., Leon, M.E., Lebaillly, P., Beane Freeman, L.E., Nordby, K.-C., Baldi, I., MacFarlane, E., Shin, A., Park, S., Greenlee, R.T., Sigsgaard, T., Basinas, I., Hofmann, J.N., Kjaerheim, K., Douwes, J., Denholm, R., Ferro, G., Sim, M.R., Kromhout, H., Schüz, J., 2021. Cancer incidence in agricultural workers: Findings from an international consortium of agricultural cohort studies (AGRICOH). *Environ Int* 157, 106825. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106825>
- Torjusen, H., Brantsæter, A.L., Haugen, M., Alexander, J., Bakketeig, L.S., Lieblein, G., Stigum, H., Næs, T., Swartz, J., Holmboe-Ottesen, G., Roos, G., Meltzer, H.M., 2014. Reduced risk of pre-eclampsia with organic vegetable consumption: results from the prospective Norwegian Mother and Child Cohort Study. *BMJ Open* 4, e006143. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006143>
- Trasande, L., Shaffer, R.M., Sathyanarayana, S., COUNCIL ON ENVIRONMENTAL HEALTH, Lowry, J.A., Ahdoot, S., Baum, C.R., Bernstein, A.S., Bole, A., Campbell, C.C., Landrigan, P.J., Pacheco, S.E., Spanier, A.J., Woolf, A.D., 2018. Food Additives and Child Health. *Pediatrics* 142, e20181408. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-1408>
- Tressou, J., Ben Abdallah, N., Planche, C., Dervilly-Pinel, G., Sans, P., Engel, E., Albert, I., 2017. Exposure assessment for dioxin-like PCBs intake from organic and conventional meat integrating cooking and digestion effects. *Food and Chemical Toxicology* 110, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.032>
- Trocino, A., Xiccato, G., Majolini, D., Tazzoli, M., Bertotto, D., Pascoli, F., Palazzi, R., 2012. Assessing the quality of organic and conventionally-farmed European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Food Chemistry* 131, 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.082>

- Van Maele-Fabry, G., Hoet, P., Vilain, F., Lison, D., 2012. Occupational exposure to pesticides and Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environment International* 46, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.05.004>
- Vanlaeys, A., Dubuisson, F., Seralini, G.-E., Traver, C., 2018. Formulants of glyphosate-based herbicides have more deleterious impact than glyphosate on TM4 Sertoli cells. *Toxicology in Vitro* 52, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2018.01.002>
- Vigar, Myers, Oliver, Arellano, Robinson, Leifert, 2019. A Systematic Review of Organic Versus Conventional Food Consumption: Is There a Measurable Benefit on Human Health? *Nutrients* 12, 7. <https://doi.org/10.3390/nu12010007>
- Vinayagam, R., Xu, B., 2015. Antidiabetic properties of dietary flavonoids: a cellular mechanism review. *Nutrition & Metabolism* 12, 60. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0057-7>
- von Ehrenstein, O.S., Ling, C., Cui, X., Cockburn, M., Park, A.S., Yu, F., Wu, J., Ritz, B., 2019. Prenatal and infant exposure to ambient pesticides and autism spectrum disorder in children: population based case-control study. *BMJ* 364, 1962. <https://doi.org/10.1136/bmj.1962>
- Vries, W. de, 2021. Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review. *Current Opinion in Environmental Science and Health* 21, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>
- Ward, M.H., Jones, R.R., Brender, J.D., de Kok, T.M., Weyer, P.J., Nolan, B.T., Villanueva, C.M., van Breda, S.G., 2018. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *Int J Environ Res Public Health* 15, 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>
- Weinberger, K., Lumpkin, T.A., 2007. Diversification into Horticulture and Poverty Reduction: A Research Agenda. *World Development* 35, 1464–1480. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2007.05.002>
- Welsh, J.A., Braun, H., Brown, N., Um, C., Ehret, K., Figueroa, J., Boyd Barr, D., 2019. Production-related contaminants (pesticides, antibiotics and hormones) in organic and conventionally produced milk samples sold in the USA. *Public Health Nutr* 22, 2972–2980. <https://doi.org/10.1017/S136898001900106X>
- World Health Organization, 2001. WHO Global Strategy for Containment of Antimicrobial Resistance.
- Worthington, V., 2001. Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 7, 161–173. <https://doi.org/10.1089/107555301750164244>
- Yu, X., Guo, L., Jiang, G., Song, Y., Muminov, M., 2018. Advances of organic products over conventional productions with respect to nutritional quality and food security. *Acta Ecologica Sinica* 38, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.01.009>
- Zaller, J.G., Kruse-Plaß, M., Schlechtriemen, U., Gruber, E., Peer, M., Nadeem, I., Formayer, H., Hutter, H.-P., Landler, L., 2022. Pesticides in ambient air, influenced by surrounding land use and weather, pose a potential threat to biodiversity and humans. *Science of The Total Environment* 838, 156012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156012>
- Zhang, F.-X., Miao, Y., Ruan, J.-G., Meng, S.-P., Dong, J.-D., Yin, H., Huang, Y., Chen, F.-R., Wang, Z.-C., Lai, Y.-F., 2019. Association Between Nitrite and Nitrate Intake and Risk of Gastric Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Med Sci Monit* 25, 1788–1799. <https://doi.org/10.12659/MSM.914621>
- Zybert, A., 2023. Differences in selected composition and quality traits between organic and conventional pork: a meta-analysis. *ANIMAL SCIENCE AND GENETICS* 19, 63–82. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9138>

Annexe 1

Comparatif des doses maximales autorisées de nitrites et de nitrates en France et dans l'UE pour les produits de charcuteries

	Réglementation européenne		Codes des Usages Charcuterie		Charcuteries Label Rouge		Charcuteries AB	
	Dose maximum d'emploi (en mg/kg)		Dose maximum d'emploi (en mg/kg)		Dose maximum d'emploi (en mg/kg)		Dose maximum d'emploi (en mg/kg)	
	Nitrite de sodium	Nitrate de potassium	Nitrite de sodium	Nitrate de potassium	Nitrite de sodium	Nitrate de potassium	Nitrite de sodium	Nitrate de potassium
Saucisses à griller : - merguez et autres saucisses type préparations de viande* - chipolatas et autres type produits à base de viande*	150	0	0	0			80 mg/kg à l'incorporation (sans possibilité d'associer nitrite de sodium et nitrate de potassium) ou 50 mg/kg résiduel	
	150	0	90	0	100* (en cours de modification pour alignement sur le Code des Usages)	0		
Saucisses et saucissons secs « traditionnels » et produits similaires crus, fermentés et séchés: (Fermentation à une température de 18 à 22°C ou inférieure (10 à 12°C) et période de maturation/d'affinage d'au moins 3 semaines. Le produit a un rapport eau/protéines inférieur à 1,7)	150	150 (250 mg/kg pour quelques spécialités traditionnelles)	0	200				
Autres saucisses et saucissons secs	150		120	120	120 idem Code des usages	120 idem Code des usages		
			0	150				
Saucissons cuits à l'ail, saucisses de Strasbourg, autres saucisses et saucissons cuits, mortadelles, roulades	150	0	100	0	80	0		
Poitrine et lardons fumés ou non	150	0	100	120	100 idem Code des usages	0		

Autres pièces et morceaux crus	150	0	120	120			
Jambon sec et autres pièces maturées séchées similaires (salaison à sec pendant 3j +1j/kg suivie d'une semaine de post-salaison et d'une période de maturation/affinage de 45j à 18 mois	150	150 (250 mg/kg pour quelques spécialités traditionnelles)	0	200 (en dose résiduelle)	0	100 (en dose résiduelle)	
Autres jambons secs	150	150 (250 mg/kg pour quelques spécialités traditionnelles)	0	120			
Jambon cru			120	120			
Autres pièces maturées, séchées			120	120			
Pièces cuites (jambon, rôti...)	150	0	90	0	80	0	
Pâtés	150	0	100	0	80	0	
Rillettes	150	0	80	0	80 idem Code des usages	0	
Produits de tête	150	0	120	0			
Andouille, andouillette	150	0	100	0			
Pieds de porc cuit	150	0	60	0			
Tripes, tripoux, boudins blancs et noirs	150	0	0	0			

Annexe 2

Synthèse Bio & Nutrition

Auteurs	année publication	Type	Nb d'études prises en compte	Nb d'échantillons ou de produits	Aliments étudiés	Composés étudiés	Conclusions
Baranski et al.	2014	Méta-analyse	343		végétaux	anti-oxydant, cadmium	+26 % flavones, + 69 % flavonones, + 50 % flavonols, +51 % anthocyanes, +19 % acides phénoliques, + 28 % stilbènes, -48 % cadmium (correction à -30 % apportée par Mie et al., 2017)
Baykalir et al.	2020	Etude		360 jaunes d'œufs	œufs	Vitamines, acides gras	Taux d'acides gras mono-insaturés plus faible Teneurs en malondialdéhyde, vitamine D2 et vitamine K2 plus élevées Vitamine E plus faible
Benbrook et al.	2008	Conference paper	97	Comparaison sur 236 paires bio/conv	fruits, légumes	Teneur totale en composés phénoliques, activité antioxydante, quercitrine, kaempférol, vitamine A, vitamine C, vitamine E, potassium, phosphore, nitrates, teneur en protéines	Les fruits et légumes biologiques étaient plus riches (+ 25 %) en nutriments dans 61 % des cas. Pour le potassium, le phosphore et les protéines totales, les produits conventionnels sont en majorité plus riches que les produits biologiques (NB : composés moins importants que les 8 autres étudiés car sont fournis de manière adéquate dans le régime alimentaire américain)
Benbrook et al.	2013	Etude		220 échantillons biologiques et 164 échantillons conventionnels	Lait	Acides gras	+62 % oméga 3 dans le lait bio et -25 % oméga 6
Brandsaeter et al.	2017	Revue			fruits, légumes, céréales, lait, viandes	vitamines, minéraux, nitrates, activité antioxydante, composés phénoliques, protéines, acides aminés, azote, acides gras, iode, sélénium, Cadmium	Teneur en vitamines supérieure (fruits, légumes) Teneur en minéraux supérieure (fruits, légumes, céréales) Teneur en nitrates inférieure (fruits, légumes, céréales) Activité antioxydante supérieure (fruits, légumes, céréales) Teneur en composés phénoliques supérieure (fruits, légumes céréales) Teneur en protéines/acides aminés/azote inférieure (fruits, légumes, céréales) Teneur en acides gras bénéfiques supérieure (lait, viande) Teneur en iode et sélénium inférieure (lait) Teneur en Cadmium inférieure (céréales)

Brandt et al.	2011	Méta-analyse	65	275 paires de données	fruits, légumes, herbes	Vitamines, métabolites secondaires	La teneur en métabolites secondaires est environ 12 % plus élevée dans les produits biologiques que dans les échantillons conventionnels correspondants, avec une différence plus importante pour les composés liés à la défense et aucune différence pour les caroténoïdes. Vitamine C : + 9 % Teneur totale en composés phénoliques : + 17 % Acides phénoliques : + 31 % Autres composés de défense (tannins, alcaloïdes, molécules amérisantes du houblon, coumarines, aurones) : + 18 % Flavonones et flavonols : + 19 % Autres composés non-défense : + 16 % Conclut que la quantité de données sur les différences de composition entre F&L bio/non bio est insuffisante (2011)
Dall'Astra et al.	2020	Etude		569 paires d'aliments bio/conventionnels	9 familles de produits transformés : pâtes/riz/autres céréales, confitures/pâtes à tartiner au chocolat et miel, aliments sucrés à base de céréales, pain et succédanés, lait/produits laitiers et boissons végétales, jus de fruits/nectars/thés glacés, aliments à base de fruits et légumes, légumineuses, huiles/grasses/vinai grette	Calories, protéines, sucres, lipides, acides gras saturés, sel	Pâtes : énergie plus faible, teneur en protéines plus faibles Farines : teneur en glucides plus élevée Confitures et gelées : valeur énergétique plus faible, glucides plus faibles Yaourts : teneur en sodium plus élevée

Dangour et al	2009	Revue de littérature sur 50 ans (1958-2008). Métaanalyse formelle rendue impossible par la qualité et l'hétérogénéité des données.	55	1149 comparaisons de teneur en éléments nutritifs	fruits, légumes, produits d'origine animale	Vitamines, minéraux, acidité titrable, azote, composés phénoliques, lipides, cendres	les aliments biologiques étaient significativement plus riches en phosphore (+ 8,1 %) et avaient une acidité titrable plus élevée. Les aliments conventionnels ont une teneur plus riche en azote. Aucune différence significative sur les produits issus de l'élevage.
Gomiero	2017	Revue			Végétaux, produits d'origine animale		Chiffres issus de Baranski et al. : Teneur en antioxydants/polyphénols/métabolites secondaires (végétaux) : + 18 à + 69 % Cadmium (végétaux) : -48 % Azote total (végétaux) : - 10 % Nitrates (végétaux) : -30 % Nitrites (végétaux) : - 87 %
Gomiero	2021	Revue			Végétaux		Nitrates : jusqu'à - 50 % Composés antioxydants : + 20 % à + 70 %
Hunter et al.	2011	Méta-analyse	33	908 comparaisons de micronutriments	fruits, légumes, céréales	Vitamines, minéraux	Vitamines + 6,3 %, minéraux + 5,5 %, phosphore + 6,6 % indépendamment du cultivar, du type de sol, des conditions de récolte et l'analyse chimique Différences les plus notables pour carottes, pomme de terre, mandarine, petits pois
Meadows	2021	Etude		8240 produits bio, 72205 produits conventionnels	produits transformés	Calories, sucres totaux, sucre ajouté, graisse saturée, sodium, potassium	Teneur en sucre total plus faible Teneur en sucre ajouté plus faible Teneur en graisses saturées plus faible Teneur en sodium plus faible
Mie et al.	2017	Revue			Végétaux, produits d'origine animale (lait, viande, œuf)	Vitamines, métaux lourds, azote, phosphore, composés phénoliques, acides gras, oligo-éléments	Azote total plus faible (produits végétaux) : -9 à -7 % Phosphore plus élevée (produits végétaux) : + 8 % Teneur en composés phénoliques (produits végétaux) : + 14 à + 26 % Cadmium : 0 à + 48 % Oméga 3 (lait) : + 50 % oméga 3 (œufs) : teneur supérieure mais mal documentée AGPI (viandes) : + 23 % Oméga 3 (viandes) : + 47 % Iode (lait) : - 67 % Sélénium (lait) : - 21 % Fer (lait) : + 20 % Tocophérol (lait) : + 13 %
Mugnai et al.	2014	Etude		œufs issus de 306 poules pondeuses réparties	œufs	Acides gras, caroténoïdes, lutéine, zéaxanthine, antheroxanthine,	Influence de la saison, de la part de pâture. Teneurs en tocophérol, caroténoïdes et oméga 3 supérieures pour les œufs bio

				en 3 groupes		cryptoxanthine, tocophérol, flavonoïdes	
Palupi et al.	2012	Méta-analyse	13		produits laitiers (majoritairement issu du lait de vache)	teneur en MG, protéines, acides gras, omega 3, omega 6, EPA, DHA, alpha-tocophérol, beta-carotène	les produits biologiques contiennent beaucoup plus de protéines, d'ALA, d'acides gras oméga-3 totaux, d'acide linoléique conjugué cis-9,trans-11, d'acide vaccénique trans-11, d'eicospires, et d'acides gras oméga-3. Meilleur ratio oméga 3/oméga 6 (0,42 contre 0,23). Teneur en protéines : plus élevée C18:1 n-9 : plus bas C18:2 n-6 : plus bas ALA : plus élevée teneur en oméga 3 : plus élevée teneur en oméga 6 : plus basse CLA 9 : plus élevée VA : plus élevée EPA : plus élevée DPA : plus élevée
Popa et al.	2019	Revue			Végétaux (pommes, tomates, aubergines, maïs), lait, viande	Micronutriments	Composés phénoliques, phosphore, fibres, flavonoïdes : teneurs plus élevées (pomme) Vitamine C, caroténoïdes, composés phénoliques : teneurs plus élevées (tomate) Vitamine C : teneur plus élevée (maïs surgelé) CLA et omega 3 : teneurs plus élevées (lait) oméga 3 : teneur plus élevée (viande)
Prache et al.	2020	Revue			Produits d'origine animale	Macro et micronutriments (minéraux, vitamines, acides gras, métaux lourds)	Grande hétérogénéité des résultats liée à une grande diversité des pratiques agricoles ; plus grande variabilité des systèmes de production biologiques Lait : données de Srednicka-Tober et al. (2016a) Viande : données de Srednicka-Tober et al. (2016b)
Ribas-Agusti et al.	2019	Etude		14 échantillons bio, 28 échantillons conventionnels	viande de bœuf	eau, collagène, protéines, lipides, profil en acides gras, cholestérol, α-tocophérol, β-carotène, coenzyme Q10, anserine, carnosine, créatine, taurine	17 % de cholestérol en moins, 32 % de graisse en moins, 16 % d'acides gras en moins, 24 % d'acides gras monoinsaturés en moins, 170 % d'acide α-linolénique en plus, 24 % d'α-tocophérol en plus, 53 % de β-carotène en plus, 34 % de coenzyme Q10 en plus et 72 % de taurine en plus
Ropero et al.	2023	Etude		1082 aliments conventionnels, 804 aliments bio	produits transformés : biscuits, céréales du petit-déjeuner, gâteaux/crackers aux céréales, boissons	Calories, protéines, glucides, sucre total, lipides totaux, lipides saturés, fibres, sodium	Biscuits : teneur en lipides saturés (-41 %), sodium (-32 %), sucres (-12,5 %) inférieures Céréales petit-déjeuner : teneur en sucre -47 %, teneur en sodium -93 % Gâteaux/crackers : teneur en lipides : -80 %, teneur en sodium : -43 %, teneur en sucre : -66 % Boissons végétales : teneur en glucides : +31 %, teneur en protéines : -27 %

					végétales, pain grillé et assimilés, substituts de desserts lactés		
Samman et al.	2009	Etude		180 œufs	œufs	Acides gras	Teneur en acide palmitique plus élevée teneur en acide stéarique plus élevée
Schwendell et al.	2015	Etude		Echantillons issus de 2 groupes fermes pratiquant le pâturage (1 bio, 1 conventionnel)	lait	Oligosaccharides libres, acides gras, caséine, protéines, matières grasses volatiles	VA (acide vaccénique) et CLA (acide linoléique conjugué) supérieurs dans le lait conventionnel LA (acide linoléique) et ALA (acide alpha-linolénique) supérieurs dans le lait biologique
Smith-Spangler et al.	2012	Méta-analyse	223		fruits, légumes, céréales, viandes, volaille, lait, œufs	Vitamine C, Carotène, Tocophérol, potassium, magnésium, fer, protéines, fibres, quercétine, kaempférol, teneur en flavonoïdes, phénols totaux	Cadmium : pas de différence Différences sur le phosphore : + 61 % (fruits, légumes, céréales)
Srednicka-Tober D. et al.	2016	Méta-analyse	77		viande	Acides gras	toutes viandes confondues : AGPI + 23 %, omega 3 + 47 %, AGMI - 8 %, acide palmitique - 11 %, acide myristique - 18 % Porc : AGPI plus élevés Poulet : AGPI plus élevés (+40 %), omega 3 (+66 %), omega 6 (+ 50 %), acide linoléique (+ 10 %), matières grasses (-50 %)
Srednicka-Tober D. et al.	2016	Méta-analyse	196		lait de vache	Acides gras, iode, sélénium, alpha-tocophérol, fer	AGPI + 7 %, omega 3 + 56 %, dont ALA + 69 % et EPA/DHA/DPA + 57 %, acide linoléique + 41 %, meilleur ratio omega6/omega 3 (-71 % en moyenne) et LA/ALA (-93 %) plus vitamine E (+13 %) de fer (+20 %), plus d'alpha-tocophérol, moins d'iode (-74 %), moins de sélénium (-21 %) Pas de différences pour protéines et matières grasses (AGS, AGMI, AGPI n-6)
Vigar et al.	2021	Revue	35			Impacts santé : essais cliniques, études de cohorte	Nombre croissant de recherches observationnelles qui établissent un lien entre avantages démontrables pour la santé et niveau de consommation d'aliments bio. Réduction des métabolites urinaires des pesticides avec un régime biologique mais pas assez de preuves sur des résultats de santé significatifs.

Worthington	2001	Revue	41		fruits, légumes, céréales	Vitamines, minéraux	Les fruits, légumes et céréales biologiques étaient significativement plus riches en vitamine C (+27 %), en fer (+21,1 %), de magnésium (+29,3 %) et de phosphore (+13,6 %), et contiennent significativement moins de nitrates que leurs homologues conventionnels
Zybert	2023	Méta-analyse	42	1420 animaux en conventionnel, 1404 animaux en bio	viande de porc	Acides gras (+ couleur, pH, gras intramusculaire, eau protéines)	La viande de porc biologique a une teneur en acides gras saturés plus légèrement faible (-3,9 %), et des teneurs plus élevées en AGPI totaux (+ 11,6 %), AGPI n-3 (+ 35,9 %) et AGPI n-6 (+ 10,9 %) que la viande de porc conventionnelle.

Intérêts nutritionnels quantifiés des aliments biologique par type de composés

Composés nutritionnels	Bio vs Conventionnel	Aliments concernés	Impact quantifié	Impacts pour la santé humaine
Antioxydants (plus particulièrement polyphénols), vitamine C, vitamine E et caroténoïdes	Teneur plus élevée	fruits et légumes biologiques Lait biologique	+26 % flavones, + 69 % flavonones, + 50 % flavonols, +51 % anthocyanes, +19 % acides phénoliques, + 28 % stilbènes (Baranski et al., 2014 ; Mie et al., 2017) Composés anti-oxydants : + 20 % à + 70 % (Gomiero, 2021) Vitamines + 6,3 % (Hunter et al., 2011) Vitamine C : +27 % (Worthington et al., 2001), + 9 % (Brandt et al., 2011) Teneur totale en composés phénoliques : + 17 % (Brandt et al., 2011) Acides phénoliques : + 31 % (Brandt et al., 2011) Autres composés de défense (tannins, alkaloïdes, coumarines, aurones...): + 18 % (Brandt et al., 2011) Flavonones et flavonols : + 19 % (Brandt et al., 2011) Vitamine E : + 13 % pour le lait biologique (Srednicka-Tober et al., 2016)	limitation du stress oxydatif / piégeage des radicaux libres : réduction de certaines maladies chroniques (maladies cardiovasculaires et neurodégénératives) et de certains cancers
Acides gras oméga 3 , ratio oméga 3 / oméga 6, profils acides gras	Teneur plus élevée, Ratio oméga 3 / oméga 6 amélioré, meilleurs profils en AG	Lait et produits laitiers biologiques viandes biologiques	Lait : + 56 % oméga 3, + 69 % ALA, + 57 % EPA/DHA/DPA, - 71 % ratio oméga 6/oméga 3 dans le lait (Srednicka-Tober et al., 2016), + 62 % oméga 3 dans le lait bio et -25 % oméga 6 (Benbrook et al, 2013), + 50 % oméga 3 (Mie et al., 2017), ratio oméga3/oméga 6 : 0.42 contre 0.23 (Palupi et al., 2012) Viande de bœuf : - 17 % de cholestérol, - 32 % de lipides, 16 % d'acides gras en moins, - 24 % d'acides gras monoinsaturés, + 170 % d'acide α-linolénique, + 24 % d'α-tocophérol, + 53 % de β-carotène, + 34 % de coenzyme Q10 et + 72 % de taurine (Ribas-Augusti, 2019) AGPI totaux : + 23 %, AGPI n-3 : + 47 % dans la viande (Srednicka-Tober et al., 2016)	Prévention des maladies inflammatoires (asthme), réduction du diabète, renforcement des fonctions immunitaires

			Viande de porc : AGPI plus élevés (Srednicka-Tober et al., 2016b), AGPI + 11.6 %, oméga 3 + 35.9 %, oméga 6 + 10.9 % (Zybert et al., 2023) Viande de Poulet : AGPI plus élevés (+40 %), omega 3 (+66 %), omega 6 (+ 50 %), acide linoléique (+ 10 %), matières grasses (-50 %) (Srednicka-Tober et al., 2016astec) Viande : + 47 % oméga 3 (Mie et al., 2017)	
Cadmium	Teneur plus faible ou absence de différences	céréales biologiques	-30 % en AB (Baranski et al., 2014 – corrigé dans Mie et al., 2017) Pas de différence (Smith-Splangler et al., 2012)	Classé comme cancérigène pour l'homme, dommage aux reins, effets toxiques sur le système squelettique et reproductif, stress oxydatif
Iode, Sélénium	Teneur plus faible	lait biologique	Lait : -74 % iode et - 21 % sélénium (Srednicka-Tober et al., 2016b), - 67 % iode et - 21 % sélénium (Mie et al., 2017)	L'iode est indispensable à la synthèse des hormones thyroïdiennes. Le sélénium participe à la lutte contre les radicaux libres et dans la synthèse protéique.
Minéraux	Teneurs plus élevées en calcium, potassium, phosphore, magnésium, fer, zinc ou Absence de différences Ou Teneurs plus faibles en potassium et phosphore Teneur en fer plus élevée	fruits et légumes biologiques Lait biologique	Absence de différences pour magnésium, calcium, potassium, zinc, cuivre (Dangour et al., 2009) Teneur plus élevée en magnésium : + 29.3 % (Worthington et al., 2001) Teneur en phosphore plus élevée dans les aliments biologiques : + 8,1 % (Dangour et al. 2009), + 8 % (Mie et al., 2017), + 61 % (Smith-Splangler et al., 2012) Teneur en potassium plus faible dans les aliments biologiques (Benbrook et al., 2008) Minéraux + 5,5 %, phosphore + 6,6 % (Hunter et al., 2011) Teneur en fer plus élevée (fruits et légumes, céréales) : + 21.1 % (Worthington et al., 2001) Fer : + 20 % pour le lait bio (Srednicka-Tober et al., 2016b ; Mie et al., 2017)	Calcium : édification et renouvellement du squelette, participe à la contraction musculaire et cardiaque, à la libération d'hormones et à la transmission de l'influx nerveux. Magnésium : présent dans les tissus osseux, régulateur du métabolisme Phosphore : constituant de la masse minérale du squelette. Intervient dans de nombreuses réactions physico-chimiques Fer : rôle majeur dans la fabrication et le fonctionnement de l'hémoglobine Zinc : intervient dans l'activité de nombreuses enzymes

Nitrates	Teneur plus faible	fruits, légumes et céréales biologiques	- 15 à - 50 % (P.Glibowski - 2020 - Organic Food and Health) - 16 % (Dangour et al., 2009) - 49 % (Rembialkowska et al., 2007) - 15,1 % (Worthinton et al., 2001) Jusqu'à - 50 % (Gomiero, 2021)	Leur toxicité est liée à la production des nitrites qu'ils favorisent (20 % des nitrates sont transformés en nitrites par la flore buccale), pouvant conduire à la formation de composés nitrosés.
----------	--------------------	---	--	--

Annexe 3

Recommandation du PNNS 4 – Illustration issue du Programme National Nutrition et Santé 2019-2023



Le document "Chapitre | Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique : la santé" s'inscrit dans la Collection "Externalités de l'Agriculture Biologique".

Contributeurs à la réalisation de ce document :

- ▶ Pilotage de l'étude "Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique" : Natacha Sautereau (ITAB)
- ▶ Direction de la publication : Emeric Pillet (ITAB)
- ▶ Rédaction : Fanny Cisowski, Céline Gentil-Sergent, Natacha Sautereau, Rodolphe Vidal (ITAB)
- ▶ Relecture :
 - Emmanuelle Kesse-Guyot (INSERM, INRAE, CNAM, Université Sorbonne Paris Nord), directrice de recherche, domaines d'expertise : Epidémiologie nutritionnelle - **relectrice**.
 - Denis Lairon, (INSERM Marseille), directeur de recherche émérite, domaines d'expertise : Nutrition humaine - **relecteur**.
 - Isabelle Savini (INRAE DEPE), ingénieure de recherche, domaines d'expertise : Rédaction ; Coordination éditoriale - **relectrice**.
- ▶ Relecture interne : Emmanuelle Baconnier, Alice Holvoet, Solenne Jourden, Pierre L'Yvonnet (ITAB)
- ▶ Relecture commanditaire : Noémie Quéré, Catherine Conil (MTECT)
- ▶ Conception de la publication : Elodie Weber, Stéphanie Mothes (ITAB)

Remerciements au Comité de pilotage de l'étude avec des membres des Ministères (MTECT, MASA, MSP), INRAE, INSERM, ISARA, France Stratégie, INAO, Santé Publique France, IDDRI-AsCa, SOLAGRO, Agence Bio, FNAB, Synabio **Crédits photos** : [GrandCelinien](#) ; F. Cisowski ; [Natfot](#) ; [Ralph](#).

Edition : ITAB

Juillet 2024

Pour citer ce document : Gentil Sergent C., Cisowski F., Vidal. R., Sautereau N., 2024, Quantification des externalités de l'agriculture biologique, Rapport Santé, pour le MTECT, 117p

Licence : CC BY-NC-ND 4.0



Le document "Chapitre | Quantification des externalités de l'Agriculture Biologique : la santé" © 2024 par Fanny Cisowski, Céline Gentil-Sergent, Rodolphe Vidal et Natacha Sautereau (ITAB) est protégé par la licence CC BY-NC-ND 4.0. Pour en savoir plus sur cette licence, visitez la page <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Contact : communication@itab.asso.fr

Financé par :



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET DE LA COHÉSION
DES TERRITOIRES**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Co-financeur :

