



INRAE

**Une année de travaux au cœur
du département Alimentation humaine**

2024



« La science n'a pas de patrie, parce que le savoir est le patrimoine de l'humanité, le flambeau qui éclaire le monde. »

Ces mots de Louis Pasteur résonnent particulièrement aujourd'hui pour nous chercheurs qui, au quotidien, nous engageons dans l'apport de connaissances nouvelles aux fronts de la science, dans l'expertise et l'appui aux politiques publiques, ainsi que dans le transfert et l'innovation vers la Société sur des sujets qui associent alimentation et santé humaine.

Une fois encore dans cette édition 2024 de nos Faits Marquants, je vous invite à découvrir quelques-uns des derniers résultats des recherches menées dans le département AlimH. Les enjeux de l'alimentation sont majeurs tant ils sont intimement connectés à l'agriculture, à l'environnement et la santé. Avec le prisme particulier des régimes alimentaires, AlimH apporte sa contribution à la caractérisation et la transformation des systèmes alimentaires dans un objectif de les rendre plus sains et durables.

Bonne lecture.

*Lionel Bretillon,
Chef de département AlimH*

GOS 1 >



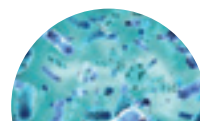
Caractériser et prendre en compte les relations alimentation-santé pour définir les besoins et les moyens d'une alimentation saine et durable

GOS 2 >



Comprendre et agir sur les comportements et les choix alimentaires pour favoriser l'adoption d'une alimentation saine et durable

GOS 3 >



Caractériser et prévenir les risques toxicologiques

GOS 4 > Favoriser les transitions nécessaires au développement de systèmes alimentaires sains et durables

GOS 5 > Développer l'accès et le déploiement des sciences des données pour mieux prédire et analyser le rapport bénéfice/risque d'une alimentation saine et durable

> Sommaire

CARACTÉRISER ET PRENDRE EN COMPTE LES RELATIONS ALIMENTATION-SANTÉ POUR DÉFINIR LES BESOINS ET LES MOYENS D'UNE ALIMENTATION SAINE ET DURABLE	P. 2 > 17
COMPRENDRE ET AGIR SUR LES COMPORTEMENTS ET LES CHOIX ALIMENTAIRES POUR FAVORISER L'ADOPTION D'UNE ALIMENTATION SAINE ET DURABLE	P. 18 > 23
CARACTÉRISER ET PRÉVENIR LES RISQUES TOXICOLOGIQUES	P. 24 > 29
FAVORISER LES TRANSITIONS NÉCESSAIRES AU DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES ALIMENTAIRES SAINS ET DURABLES	P. 30 > 37
DÉVELOPPER L'ACCÈS ET LE DÉPLOIEMENT DES SCIENCES DES DONNÉES	P. 38 > 41
FOCUS INNOVATIONS	P. 42 > 43
DISTINCTIONS	P. 44 > 45



Caractériser et prendre en compte les **RELATIONS** **alimentation-santé** pour définir les besoins et les moyens d'une alimentation saine et durable

La composition d'une alimentation saine varie en fonction des caractéristiques de chaque individu, de celles des aliments consommés, de leur disponibilité (environnement alimentaire) et des habitudes alimentaires. Dans cette perspective, il est central de s'interroger sur l'importance relative des caractéristiques des individus d'une part et de l'alimentation d'autre part dans la compréhension de la variabilité de la réponse biologique des individus aux aliments et à l'alimentation et aux conséquences sur la santé de l'Homme.



➤ Alimentation de la 1^{ère} année et corpulence de l'enfant

En analysant les données de plus de 9000 enfants de la cohorte nationale ELFE, les chercheurs ont montré l'importance de considérer les différentes dimensions de l'alimentation infantile pour mieux comprendre leurs impacts.

De nombreux travaux ont porté sur les bienfaits de l'allaitement maternel sur la santé de l'enfant. Concernant la croissance, une revue systématique récente menée par l'USDA a conclu, avec un niveau de preuve modéré, que l'allaitement maternel avait un effet protecteur sur le risque ultérieur de surpoids ou d'obésité. Néanmoins, les données étaient insuffisantes pour conclure concernant la durée de l'allaitement. Le seul essai randomisé (PROBIT) sur l'allaitement n'a trouvé aucun effet préventif de l'allaitement maternel vis-à-vis du surpoids ni à 11,5 ans ni à 16 ans, avec même une tendance à l'augmentation de la prévalence du surpoids dans le groupe intervention. Par ailleurs, une synthèse mandatée par l'OMS et publiée en 2016, mentionnait que l'alimentation des enfants non exclusivement allaités était insuffisamment prise en compte dans les travaux portant sur l'allaitement. Ainsi, les présents travaux avaient pour objectif l'évaluation du lien entre l'alimentation de la 1^{ère} année prise dans sa globalité (alimentation lactée et diversifiée) et l'indice de masse corporelle (IMC) des enfants.

Les investigations ont été menées chez plus de 9000 enfants de la cohorte nationale ELFE. Les chercheurs ont pu montrer que ceux allaités plus de 6 mois avaient un indice de masse corporelle plus faible à l'âge de 1 an. Néanmoins, cet effet ne persistait pas plus tard dans l'enfance et, contrairement aux données de la littérature, aucun effet bénéfique de l'allaitement n'a pu être mis en évidence sur le risque de surpoids à 7,5 ans. En revanche, une diversification alimentaire trop précoce (avant 4 mois) était associée à un IMC plus élevé dans l'enfance, mais pas au risque de surpoids. A l'inverse, un profil alimentaire caractérisé par une introduction précoce des céréales infantiles et une introduction tardive des morceaux était associé à un IMC plus faible jusqu'à 7,5 ans.

Ces travaux soulignent l'importance de caractériser l'alimentation de la première année de vie au-delà de l'allaitement, afin de pouvoir dissocier les effets de chacune de ses composantes. Ces analyses devront être poursuivies avec un suivi jusqu'à des âges ultérieurs.

« L'étude Elfe a pour but de mieux connaître les facteurs (environnement, entourage familial, conditions de vie...) qui peuvent influencer le développement physique et psychologique de l'enfant, sa santé et sa socialisation. La cohorte Elfe consiste en un suivi dans le temps de près de 18 000 enfants nés en 2011.



CONTACT > blandine.delauzon-guillain@inrae.fr
Référence > doi: 10.1111/ijpo.13121
Partenaires > CRESS • ELFE • CSGA



➤ Alimentation pendant la grossesse et allergies chez l'enfant

Quelques études ont évalué l'influence potentielle des profils de consommation alimentaire pendant la grossesse sur la croissance du fœtus mais les données sont beaucoup plus rares en ce qui concerne les pathologies allergiques et respiratoires chez l'enfant.

De nombreux travaux ont mis en évidence un lien entre l'environnement prénatal et la survenue de pathologies chez l'enfant, voire à l'âge adulte. En particulier, l'alimentation maternelle apparaît comme un élément crucial pour le développement fœtal avec des conséquences sur la santé ultérieure de l'enfant. Quelques études ont évalué l'influence potentielle des profils de consommation alimentaire pendant la grossesse sur la croissance du fœtus et de l'enfant mais les données sont beaucoup plus rares en ce qui concerne leurs associations avec le développement de pathologies allergiques et respiratoires chez l'enfant.

Les analyses ont porté sur plus de 9000 couples mère-enfant de la cohorte nationale ELFE. Dans un premier temps, les chercheurs ont pu identifier 5 profils d'enfants : un premier groupe était constitué d'enfants avec peu de symptômes allergiques et respiratoires, un deuxième d'enfants avec des sifflements dans les premières années mais qui ne persistaient pas, un troisième groupe d'enfants avec de l'asthme mais pas d'autres pathologies allergiques, un 4^{ème} groupe d'enfants avec des maladies allergiques (eczéma, allergie alimentaire, rhinite) mais sans asthme, et un 5^{ème} groupe d'enfants combinant des maladies allergiques et de l'asthme.

Ces travaux ont mis en évidence que la qualité globale de l'alimentation pendant les derniers mois de la grossesse était peu associée à la morbidité allergique et respiratoire dans la petite enfance. Néanmoins, une consommation modérée de légumineuses ou de poisson pendant la grossesse était associée à un moindre risque allergique et respiratoire chez les enfants.

Ces résultats sont en accord avec les recommandations actuelles concernant l'alimentation des femmes enceintes et soulignent l'intérêt de favoriser la consommation de légumineuses et la consommation modérée de poisson (2 fois par semaine) pendant la grossesse.

Consommer plus de légumes secs et du poisson deux fois par semaine pendant la grossesse pourrait être bénéfique pour la santé allergique et respiratoire de l'enfant.



CONTACT > blandine.delauzon-guillain@inrae.fr
Référence > doi: 10.1038/s41598-024-63456-3
Partenaires > : CRESS • MTS • ELFE • CESP

➤ Identification des allergènes potentiels de la graine de tournesol

Dans le cadre de la transition vers une alimentation plus durable, de nouvelles sources de protéines sont recherchées pour remplacer au moins partiellement les protéines d'origine animale. Toutefois, l'utilisation croissante de ces sources comme ingrédient dans l'alimentation humaine pourrait favoriser l'émergence de nouvelles allergies alimentaires.



Nous avons identifié et caractérisé la fraction protéique de la graine de tournesol qui peut poser le plus grand risque allergénique : les albumines 2S.

Les protéines de la graine de tournesol offrent une bonne alternative afin de diversifier les sources de protéines végétales. Bien que rares, des cas d'allergie aux protéines de graines de tournesol sont néanmoins rapportés. Dans ce cas, les patients allergiques produisent des immunoglobulines de type E (IgE) spécifiques qui sont alors un marqueur de sensibilisation des patients contre ces protéines (ou allergènes alimentaires).

La protéine de transfert lipidique non spécifique Hel a 3 était jusqu'à présent la seule officiellement considérée comme allergène alimentaire de la graine de tournesol.

Les chercheurs ont analysé le profil de sensibilisation de patients allergiques aux protéines de graines de tournesol afin d'identifier les autres allergènes majeurs d'intérêt clinique.

Après avoir purifié un grand nombre de protéines de graines de tournesol aux propriétés physicochimiques et fonctionnelles diverses, les chercheurs ont testé leur reconnaissance par les IgE de patients allergiques : ils ont observé que 93% des patients produisent des IgE spécifiques de certaines albumines 2S, telles que Hel a 15 et Hel a 16. De plus, les niveaux d'IgE spécifiques aux albumines 2S Hel a 15 et Hel a 16, mais pas à Hel a 3, sont significativement plus élevés chez des patients présentant des symptômes modérés ou sévères par rapport à des patients présentant des symptômes légers.

L'identification des albumines 2S Hel a 15 et Hel a 16 comme marqueurs potentiels de la sévérité clinique de l'allergie aux protéines de graines de tournesol offre des perspectives d'amélioration du diagnostic de cette allergie alimentaire. L'élaboration d'ingrédients protéiques avec une concentration réduite en albumines 2S permettrait d'en limiter le potentiel allergénique.



CONTACT > stephane.hazebrouck@inrae.fr
Référence > doi: 10.1111/all.16124
Partenaires > MTS • PNCA • BIA • CNRS • Hospital Universitario Infanta Sofia • Sofiproteol

➤ PCSK9 : Un nouvel acteur dans l'allergie alimentaire

La prévalence des allergies alimentaires a augmenté de manière significative dans le monde au cours des trente dernières années. Actuellement, 5 à 8 % des enfants et 1 à 2 % des adultes sont concernés par cette maladie. Cependant, les options thérapeutiques actuelles restent limitées. Par conséquent, une meilleure compréhension des mécanismes immunologiques clés impliqués dans ce processus est nécessaire pour développer de nouvelles stratégies thérapeutiques. Récemment, il a été suggéré que les taux de cholestérol sont associés à la pathologie allergique et que le cholestérol est capable de favoriser l'inflammation. La proprotéine convertase subtilisine/kexine de type 9 (PCSK9) a été identifiée en 2003 comme une molécule impliquée dans l'hypercholestérolémie familiale, une maladie génétique associée à un taux élevé

de cholestérol et à des maladies cardiovasculaires prématurées. Compte tenu de l'implication de PCSK9 sur l'immunité, les chercheurs ont exploré l'impact de la déficience ou de l'inhibition de PCSK9 sur un modèle murin d'allergie alimentaire.

Les chercheurs ont montré que le déficit en PCSK9 ou l'inhibition pharmacologique de PCSK9 par un anticorps protégeait les souris contre les symptômes de l'allergie alimentaire tels que l'augmentation du temps de transit intestinal et l'œdème. De plus, l'inhibition spécifique de PCSK9 pendant l'étape de déclenchement de la réaction allergique était suffisante pour assurer des effets anti-allergiques chez la souris. Il est intéressant de noter que l'effet protecteur de l'inhibition de PCSK9 contre les symptômes d'allergie alimentaire était indépendant du récepteur au cholestérol, car les inhibiteurs de PCSK9 restaient efficaces chez les souris déficientes pour ce récepteur.

Ces résultats ouvrent la voie à de nouvelles perspectives thérapeutiques en allergologie.



CONTACT > gregory.bouchaud@inrae.fr
Référence > doi: 10.1016/j.trsl.2024.03.001
Partenaires > BIA • Institut du Thorax • Université Laval



> La consommation de certains additifs alimentaires émulsifiants serait associée à un risque accru de cancers et de diabète de type 2

Les émulsifiants font partie des additifs les plus fréquemment utilisés par l'industrie agroalimentaire. Leur usage vise à améliorer la texture des produits tout en prolongeant leur durée de conservation. Des chercheurs ont entrepris d'étudier les possibles liens entre les apports alimentaires en additifs émulsifiants et la santé. Ils ont analysé les données de santé de plus de 100 000 adultes participant à l'étude de cohorte française NutriNet-Santé, en évaluant, en parallèle, leur consommation de ce type d'additifs alimentaires.

En France et en Amérique du Nord, environ respectivement 30 à 60 % de l'apport énergétique alimentaire des adultes provient d'aliments ultra-transformés. De plus en plus d'études épidémiologiques suggèrent un lien entre une consommation élevée d'aliments ultra-transformés et un risque accru d'obésité, de maladies cardio-métaboliques et de certains cancers.

Les émulsifiants figurent parmi les additifs les plus couramment utilisés. Ils sont souvent ajoutés aux aliments industriels ultra-transformés et emballés tels que certaines pâtisseries, gâteaux et desserts, glaces, barres chocolatées, pains, margarines, plats préparés mais également yaourts et biscottes aux céréales, afin d'améliorer leur apparence, leur goût, leur texture et leur durée de conservation. Ils comprennent notamment les mono- et diglycérides d'acides gras, les carraghénanes, les amidons modifiés, les lécithines, les phosphates, les celluloses, les gommes et les pectines.

Comme pour tous les additifs alimentaires, la sécurité des émulsifiants a été précédemment évaluée sur la base des preuves scientifiques disponibles à l'époque. Pourtant, certaines recherches récentes suggèrent que certains émulsifiants pourraient perturber le microbiote intestinal et augmenter le risque d'inflammation et d'altérations métaboliques, pouvant potentiellement entraîner une résistance à l'insuline et la survenue du diabète et favoriser la survenue de certains cancers.

Les présents résultats sont fondés sur l'analyse des données françaises de 100 000 adultes qui ont participé à l'étude de cohorte NutriNet-Santé entre 2009 et 2023.

Les participants ont renseigné en ligne tous les aliments et boissons consommés ainsi que leur marque (pour les produits industriels), sur plusieurs journées d'enquête, avec la possibilité de réactualiser leurs données de consommation tous les 6 mois. Ces enregistrements ont été mis en relation avec des bases de données afin d'identifier la présence et la dose des additifs alimentaires (dont les émulsifiants) dans les produits consommés. Des dosages en laboratoire ont également été effectués pour fournir des valeurs quantitatives.

Après un suivi moyen de 7 ans, les chercheurs ont constaté que des apports plus élevés en monoglycérides et diglycérides d'acides gras (E471) étaient associés à des risques accrus de cancers au global (une augmentation de 15 % du risque chez les plus forts consommateurs par rapport aux plus faibles consommateurs), de cancers du sein (une augmentation de 24 % du risque), et de cancers de la prostate (un accroissement de 46 % du risque). D'autre part, les femmes ayant des apports plus élevés en carraghénanes (E407 et E407a) avaient 32 % plus de risque de développer des cancers du sein, par rapport au groupe ayant une consommation plus faible.

Après un suivi moyen de 7 ans, les scientifiques ont par ailleurs observé que l'exposition chronique – évaluée par des données répétées – aux émulsifiants suivants était associée à un risque accru de diabète de type 2 :

- Carraghénanes (carraghénanes totaux et E407 ; augmentation de risque de 3 % par incrément de 100 mg par jour),
- Phosphate tripotassique (E340 ; augmentation de risque de 15 % par incrément de 500 mg par jour),
- Esters d'acide acétyltartrique de monoglycérides et de diglycérides d'acides gras (E472e ; augmentation de risque de 4 % par incrément de 100 mg par jour),
- Citrate de sodium (E331 ; augmentation de risque de 4 % par incrément de 500 mg par jour),
- Gomme-guar (E412 ; augmentation de risque de 11 % par incrément de 500 mg par jour),
- Gomme arabique (E414 ; augmentation de risque de 3 % par incrément de 1000 mg par jour),
- Gomme xanthane (E415, augmentation de risque de 8 % par incrément de 500 mg par jour).

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. Les auteurs soulignent certaines limites à ce travail. Par exemple, la proportion élevée de femmes, le niveau d'éducation plus élevé en moyenne et les comportements globalement plus sains de la santé parmi les participants à l'étude NutriNet-Santé par rapport à la population française en général, qui peuvent limiter la généralisation des résultats à l'ensemble de la population.

Néanmoins, l'échantillon de l'étude était de grande ampleur et les auteurs ont pu tenir compte d'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. De plus, les résultats sont restés inchangés après de multiples analyses de sensibilité, renforçant ainsi leur robustesse.

Ces travaux apportent de nouvelles connaissances clés au débat sur la réévaluation de la réglementation relative à l'utilisation des additifs dans l'industrie alimentaire, afin de mieux protéger les consommateurs. Parmi les prochaines étapes, l'équipe de recherche va s'intéresser aux variations de certains marqueurs sanguins et du microbiote intestinal en lien avec la consommation de ces additifs, pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents. Elle va également investiguer les impacts sur la santé des mélanges d'additifs et de leurs potentiels « effets cocktails ». Des travaux en collaboration avec des toxicologues d'INRAE et de l'INSERM, dans le cadre du réseau NACRe qui rassemble des équipes de recherche engagées dans le domaine nutrition et cancer, vont permettre de tester l'impact de ces expositions dans le cadre d'expérimentations *in vitro* et *in vivo*, pour rassembler plus d'arguments en faveur d'un lien causal.



CONTACT > m.touvier@eren.smbh.univ-paris13.fr
bernard.srouer@inrae.fr

Référence > doi: 10.1371/journal.pmed.1004338, doi: 10.1016/S2213-8587(24)00086-X

Partenaires > CRESS • TOXALIM • OMS-CIRC • Metatox • Réseau NACRe



NutriNet-Santé est une étude de santé publique coordonnée par l'Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle (CRESS-EREN, Inserm/INRAE/Cnam/Université Sorbonne Paris Nord/Université Paris Cité), qui, grâce à l'engagement et à la fidélité de plus de 180 000 « nutrinautes », fait avancer la connaissance des liens entre la nutrition (alimentation, activité physique, état nutritionnel) et la santé.

Initiée en 2009, l'étude a déjà donné lieu à plus de 300 publications scientifiques internationales. Un appel au recrutement de nouveaux nutrinautes est toujours en cours afin de continuer à faire avancer la recherche publique sur les relations entre la nutrition et la santé.

En consacrant quelques minutes par mois à répondre, via Internet, sur la plateforme sécurisée etude-nutrinet-sante.fr, aux différents questionnaires relatifs à l'alimentation, à l'activité physique et à la santé, les participants contribuent à faire progresser les connaissances, pour une alimentation plus saine et plus durable.

+ de 180 000
« nutrinautes »

300
publications
scientifiques



> La consommation d'aliments moins bien classés au Nutri-Score est associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de mortalité en Europe occidentale, représentant 1/3 des décès en 2019. L'alimentation serait responsable d'environ 30% des décès dus aux maladies cardiovasculaires.

Les politiques nutritionnelles de prévention constituent donc un enjeu de santé publique majeur pour ces pathologies. Dans la présente étude, les chercheurs se sont intéressés à la nouvelle version de l'algorithme qui sous-tend le Nutri-Score en lien avec le risque de maladies cardiovasculaires, dans une large population. Au total, 345 533 participants de la cohorte, répartis dans 7 pays d'Europe et suivis pendant 12 ans ont été inclus dans les analyses.

Le Nutri-Score est désormais bien connu et largement plébiscité par les Français. Officiellement adopté en France en 2017 (et dans 6 autres pays européens depuis), ce logo vise à fournir une information rapide sur la qualité nutritionnelle des aliments et boissons pour aider les consommateurs à les comparer entre eux et les inciter à choisir ceux présentant la meilleure qualité nutritionnelle. En parallèle, il permet d'encourager les industriels à améliorer la qualité nutritionnelle de leurs produits.

Le Nutri-Score comporte 5 catégories : de A-vert foncé (qualité nutritionnelle plus élevée) à E-orange foncé (qualité nutritionnelle moindre). Une catégorie est attribuée à un aliment ou une boisson en fonction d'un algorithme calculé à partir de sa composition pour 100 g en énergie, sucres, acides gras saturés et sel (à limiter) et en protéines, fruits, légumes et légumineuses (à favoriser).

De nombreuses études publiées dans des journaux scientifiques internationaux (plus de 140 publications) ont démontré la validité du Nutri-Score pour caractériser la qualité nutritionnelle des aliments ou encore son efficacité pour aider les consommateurs à choisir des produits de meilleure qualité nutritionnelle. En particulier, des liens entre la consommation d'aliments moins bien classés sur l'échelle du Nutri-Score (qualité nutritionnelle moindre) et un risque accru de maladies cardiovasculaires ont jusqu'ici été observés dans des études françaises (cohorte SU.VI.MAX et NutriNet-Santé). Des investigations conduites en France, au Royaume-Uni, en Espagne et en Italie ont également observé des associations similaires avec un risque accru pour diverses pathologies chroniques ainsi qu'une surmortalité.

Dans cette nouvelle étude, les chercheurs se sont intéressés à la version revisitée de l'algorithme qui sous-tend le Nutri-Score, en lien avec le risque de maladies cardiovasculaires, dans une large population répartie dans 7 pays d'Europe, dans l'objectif de fournir de nouveaux éléments scientifiques pour la validation du Nutri-Score à une échelle européenne. Elle fait suite à deux études publiées en 2018 et en 2020 dans la même population et portant sur le risque de cancer et sur la mortalité.

Au total, 345 533 participants de la cohorte EPIC (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) ont été inclus dans les analyses. Au cours du suivi (12 ans, entre 1992 et 2010), 16 214 participants ont développé une maladie cardiovasculaire (dont 6 565 infarctus du myocarde et 6 245 accidents vasculaires cérébraux ou AVC). Les résultats révèlent que les participants consommant en moyenne plus d'aliments moins bien notés sur l'échelle du Nutri-Score, reflétant donc une moins bonne qualité nutritionnelle, présentaient un risque accru de maladies cardiovasculaires et en particulier d'infarctus du myocarde et d'AVC. Ces associations étaient significatives après la prise en compte d'un grand nombre de facteurs sociodémographiques et liés au mode de vie.

Ces résultats, combinés à l'ensemble des données disponibles concernant le Nutri-Score et l'algorithme qui le sous-tend, confirment la pertinence du Nutri-Score en tant qu'outil de santé publique pour guider les consommateurs dans leurs choix alimentaires dans une optique de prévention des maladies chroniques.

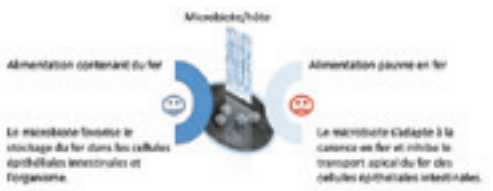
CONTACT > m.touvier@eren.smbh.univ-paris13.fr
Référence > doi: 10.1016/j.lanepe.2024.101006
Partenaires > : CRESS • OMS-CIRC



> Quand le fer manque, le 'fair-play' du microbiote disparaît

L'anémie ferriprive (causée par une carence en fer) est le trouble sanguin le plus courant qui touche 2 milliards de personnes dans le monde et est associée à des maladies chroniques, des troubles gastro-intestinaux et respiratoires. Le fer est un élément essentiel à tous les organismes vivants, ce qui fait que sa disponibilité peut modifier les interactions au sein du microbiote mais aussi les communications entre l'hôte et son microbiote.

Le fer est un élément vital pour les micro-organismes du microbiote et les cellules humaines. La co-existence, la co-évolution, la tolérance, la coopération et la compétition régissent l'utilisation des ressources nutritionnelles entre l'écosystème microbien et les cellules de l'hôte. Un déficit ou une surcharge en fer constituent deux situations délétères pour la santé, l'unique porte d'entrée du fer alimentaire dans l'organisme étant l'intestin.



Le microbiote et l'hôte : un duo dont les interactions évoluent en fonction des quantités de fer apportées par l'alimentation.

En fonction des besoins en fer de l'organisme, le stockage et le transport du fer dans les cellules épithéliales sont modulés de façon opposée : en cas de besoin, par exemple, l'absorption est favorisée et le stockage diminue. Ces mécanismes fins de régulations répondent à des signaux variés, comme l'hormone hepcidine, la quantité de fer dans le régime alimentaire, le statut physiologique et le microbiote intestinal.

L'objectif de cette étude était de mieux comprendre les effets du microbiote sur le métabolisme du fer de l'hôte en cas de carence nutritionnelle en fer.

Des souris, avec ou sans microbiote, ont été soumises à un régime pauvre (ou non) en fer. La carence martiale alimentaire modifie de façon progressive la composition et l'activité fermentaire du microbiote, qui s'enrichit en bifidobactéries et lactobacilles. Quand le fer manque, le microbiote diminue les capacités de transport du fer luminal des cellules épithéliales ; alors qu'il favorise le stockage du fer dans les cellules intestinales quand celui-ci est fourni en quantité suffisante par l'alimentation.

Dans ce travail, les chercheurs montrent que le microbiote intervient dans le transport et le stockage du fer de façon différente en fonction de la quantité de fer dans l'alimentation. La quantité de fer alimentaire illustre l'adaptabilité et la versatilité du dialogue entre les cellules intestinales et le microbiote. La carence d'un élément vital dans l'alimentation favorise plutôt la compétition entre le microbiote et l'hôte. Avec une quantité suffisante de fer alimentaire, le microbiote semble plutôt aider l'hôte à le stocker.

Il serait intéressant d'étudier la balance coopération-compétition au niveau des micro-organismes intestinaux en fonction de la quantité de fer alimentaire. Ce travail suggère également que les enrichissements en fer mis en place pour pallier des carences vont moduler le microbiote et ses relations avec l'hôte. Enfin, il serait intéressant de tester comment des probiotiques, notamment des souches de lactobacilles ou de bifidobactérie, pourraient optimiser des stratégies de supplémentation en fer.

CONTACT > muriel.thomas@inrae.fr
Référence > doi: 10.1080/19490976.2024.2361660
Partenaires > : MICALIS • INSERM • IRD • Addis Abeba University



➤ Capacité des bactéries du microbiote intestinal à dégrader les fibres alimentaires

Le microbiote intestinal contribue de manière significative au bien-être et à la santé humaine et représente une cible thérapeutique potentielle. L'alimentation est un des facteurs clés modulant la composition et l'activité de cet écosystème microbien. En particulier, les fibres alimentaires prébiotiques sont des nutriments qui échappent à la digestion mais qui sont utilisés de manière sélective par les bactéries de notre microbiote intestinal, au bénéfice de notre santé. Cette étude explore, de manière approfondie, les capacités métaboliques de 17 bactéries commensales, représentatives d'un microbiote intestinal humain, vis-à-vis de la dégradation de fibres alimentaires.

Les fibres alimentaires prébiotiques comprennent des polysaccharides complexes non digestibles, utilisés sélectivement par des bactéries commensales intestinales, favorisant la production de métabolites d'intérêt. De par ces propriétés, ces composés alimentaires peuvent représenter des leviers efficaces pour moduler la composition et la fonction du microbiote intestinal. Cependant, pour proposer des stratégies nutritionnelles pertinentes, au plus près des besoins du microbiote intestinal, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les interactions entre fibres alimentaires à potentiel prébiotique et bactéries du microbiote.

Dans cette étude, un panel de 17 bactéries commensales, représentatives du microbiote intestinal humain, a été sélectionné et 4 fibres alimentaires à potentiel prébiotique (c'est-à-dire susceptibles de favoriser la croissance bactérienne) ont été étudiées (inuline d'agave, fibres de maïs, polydextrose et pectine d'agrumes). Des analyses de croissance bactérienne, de production de métabolites, à grande échelle et sans a priori, ainsi que des études transcriptomiques ont été menées.

Cette étude révèle que les bactéries commensales possèdent des capacités fonctionnelles distinctes à dégrader les fibres prébiotiques, en lien avec leur appartenance phylogénétique. Il existe ainsi des préférences nutritionnelles pour les groupes bactériens, qui sont essentiellement restreintes à l'inuline pour les bifidobactéries et plus larges pour les Bacteroides, par exemple. Ces données sont en lien avec la mobilisation de voies métaboliques différentes (en particulier les voies de dégradation des sucres complexes) et la production de métabolites bactériens d'intérêt (non seulement les acides gras à chaîne courte mais aussi d'autres composés comme le GABA (acide γ-aminobutyrique)).

Dans le présent travail, toutes les fibres alimentaires n'ont pas la même capacité à stimuler la croissance bactérienne et les activités de fermentation. Les variations observées dans les réponses métaboliques sont liées aux caractéristiques génétiques des bactéries commensales. Des analyses métabolomiques et transcriptomiques ont permis de mieux comprendre les réponses bactériennes. Il s'agira maintenant de mieux comprendre le rôle de certains métabolites identifiés dans ce travail (par exemple, le GABA) dans les effets bénéfiques des fibres prébiotiques.



CONTACT > claire.cherbuy@inrae.fr
Référence > doi: 10.1128/msystems.01401-23
Partenaires > : MICALIS • MaIAGE • CEA • General Mills France



➤ Une approche alimentaire multifonctionnelle pour réduire l'inflammation intestinale

Le développement des maladies cardio-métaboliques est associé à une inflammation chronique de bas grade, en partie liée à des altérations du microbiote intestinal et de la barrière intestinale. Les chercheurs ont étudié l'impact d'une stratégie nutritionnelle multifonctionnelle, combinant différents composés bioactifs sur l'inflammation, la modulation du microbiote intestinal et le profil cardio métabolique.

L'étiopathogénie des maladies cardio-métaboliques est associée à une inflammation chronique de bas grade, en partie liée à des altérations du microbiote intestinal et à une intégrité intestinale réduite. Les interactions fortes entre certains composants de l'alimentation et l'intestin ont été récemment identifiées comme l'un des éléments déterminants de leurs effets sur l'inflammation de bas grade. Une stratégie alimentaire ciblant ces types de composants pourrait donc constituer une stratégie pertinente et donc un outil d'intervention privilégié pour contrôler l'inflammation de bas-grade et les anomalies métaboliques associées. Les travaux précédemment réalisés chez l'animal et chez l'Homme ont permis d'identifier des ingrédients bioactifs ayant un potentiel intéressant pour améliorer le statut inflammatoire et renforcer l'intégrité de la barrière intestinale. Différents constituants alimentaires, lorsqu'ils sont combinés, pourraient possiblement offrir des bénéfices accrus, notamment sur l'inflammation.

Les chercheurs ont donc étudié l'impact d'une stratégie nutritionnelle multifonctionnelle, combinant ces différents composés bioactifs dans une matrice de biscuits céréaliers, sur l'inflammation de bas grade, la modulation du microbiote intestinal et le profil cardio-métabolique. Dans un essai randomisé contrôlé en cross-over, 30 sujets à risque cardio-métabolique ont consommé des produits céréaliers multifonctionnels, enrichis en polyphénols, fibres, amidon lentement digestible, acides gras oméga-3, ou des produits céréaliers témoins (sans composés bioactifs) pendant 8 semaines.

Comparée à l'intervention contrôle, la stratégie d'enrichissement multifonctionnel après 8 semaines a permis de réduire l'inflammation intestinale et l'endotoxémie, sans altérer l'inflammation systémique. L'intervention a aussi diminué la concentration des acides aminés à chaîne ramifiée sériques, habituellement associés à un profil métabolique délétère et augmenté la prévalence de plusieurs espèces du microbiote intestinal décrites comme associées à un profil bénéfique.

Les marqueurs glucolipidiques du risque cardio-métabolique sont restés inchangés, à l'exception d'une tendance à l'augmentation de la sensibilité à l'insuline du tissu adipeux.

Ces travaux contribuent à renforcer les preuves des interactions entre l'alimentation, le microbiote et le profil inflammatoire, qui sont des déterminants clés de la santé cardio-métabolique. Ces résultats, obtenus chez des sujets à risque de maladies cardio-métaboliques, s'intègrent pleinement dans une stratégie de prévention, pour une bonne santé par l'alimentation. Il apparaît essentiel d'adopter une approche intégrée multi-cibles et multi-biomarqueurs pour comprendre les mécanismes physiologiques impliqués dans les interactions entre l'alimentation, le microbiote intestinal et la santé cardio-métabolique.



CONTACT > julie-anne.nazare@univ-lyon1.fr
marie-caroline.michalski@inrae.fr
Référence > doi: 10.1080/19490976.2024.2438823
Partenaires > CRNH Rhône-Alpes • CARMEN • Hospices Civils de Lyon • INAF-Université Laval • Université Catholique de Louvain • Métagenopolis • Mondelez • Diana Foods



➤ Le microbiote intestinal : un acteur majeur dans la relation entre l'alimentation et le cancer colorectal

La viande rouge, en raison notamment de sa forte teneur en fer héminique, est associée au risque de cancer colorectal, lorsqu'elle est consommée en grande quantité. Les chercheurs ont voulu comprendre le rôle du microbiote intestinal dans la cancérogénèse colique.

La littérature montre que, dans les modèles animaux, le fer héminique a une action pro-oxydante dans la lumière colique associée à une profonde modification du microbiote intestinal et à une augmentation de la cancérogénèse colique. Dans notre étude, un régime carné, riche en fer héminique, a en effet provoqué plus de lésions coliques qu'une alimentation de type pesco-végétarien, dans deux modèles animaux. D'une part, le microbiote intestinal des animaux a été modifié par les différents régimes. D'autre part, la transplantation fécale a permis de démontrer que l'effet du régime carné sur la cancérogénèse colique était médié au moins en partie par le microbiote intestinal, avérant ainsi un lien de causalité entre dysbiose et carcinogénèse. En effet, des rats axéniques (dépourvus de flore intestinale) transplantés avec le microbiote de rongeurs ayant été nourris avec le régime carné, ayant induit chez les donneurs de flore un plus grand nombre de lésions cancéreuses dans le côlon, développaient également plus de lésions précancéreuses que ceux transplantés avec les selles d'animaux ayant reçu un régime non promoteur du cancer.

Le cancer colorectal est un cancer prévalent pour lequel l'alimentation joue un rôle important, apportant des éléments promoteurs ou à l'inverse protecteurs. Ainsi, la consommation de viande rouge et de charcuteries est associée au risque de cancer colorectal, alors que les viandes blanches ou le poisson ne le sont pas. Le fer héminique, présent en grande quantité dans la viande

rouge, est suspecté de jouer un rôle important dans cette association, via son action pro-oxydante sur d'autres composés du régime. Par ailleurs, ce fer héminique peut également modifier la composition du microbiote intestinal. D'un point de vue mécanistique, il est alors difficile de déterminer si le fer héminique contenu dans les viandes rouges exerce son effet directement ou bien via la modification du microbiote intestinal. La transplantation fécale apparaît alors comme une méthode de choix pour appréhender le rôle du microbiote dans ce contexte.

En collaboration avec des équipes italiennes et un laboratoire néerlandais, deux unités du département ont étudié, dans deux modèles de cancérogénèse colique chez le rat, l'un chimio-induit, l'autre portant une mutation génétique en relation avec le développement du cancer colorectal, l'effet de différents régimes suspectés d'être associés à ce cancer. Ils ont testé l'effet d'un régime riche en viande rouge et en charcuteries (régime carné à haut risque), du même régime carné additionné de vitamine E (régime à risque normalisé) et d'un régime riche en poisson et en épinards (régime pesco-végétarien à bas risque) sur le développement du cancer colorectal et la composition du microbiote intestinal, en comparaison à un régime contrôle sans viande ou poisson. Le régime carné a provoqué plus de lésions cancéreuses que le régime pesco-végétarien dans les deux modèles et le microbiote fécal des rats a été profondément modifié par les différents régimes alimentaires. La transplantation de fèces provenant des rats nourris avec le régime carné chez des rats axéniques nourris avec un régime contrôle a induit plus de lésions coliques que les fèces provenant de rats nourris avec le régime pesco-végétarien ou encore avec le régime carné associé à de la vitamine E, après chimio-induction. Les rongeurs transplantés ont gardé un microbiote caractéristique de leur inoculum jusqu'à la fin de l'expérimentation, soit plus de trois mois après la transplantation. Ces résultats mettent en évidence d'une part le rôle prépondérant du microbiote dans la relation alimentation et développement du cancer colorectal, et d'autre part le rôle protecteur d'un régime de type pesco-végétarien.

Cette étude est la première à montrer que le risque de cancer colorectal associé à un régime carné promoteur peut être transmis par le microbiote intestinal. D'autres recherches sont nécessaires pour comprendre les mécanismes moléculaires impliqués mais ce travail ouvre de nouvelles pistes pour prévenir le cancer colorectal chez les personnes à haut risque.



CONTACT > francoise.gueraud@inrae.fr
philippe.gerard@inrae.fr

Référence > doi: 10.1186/s40168-024-01900-2

Partenaires > : MICALIS • TOXALIM • MetaToul-AXIOM • Institute of Agricultural Biology and Biotechnology Pisa • Université de Florence • Netherlands Organisation for Applied Scientific Research



➤ Des émulsifiants végétaux pour remplacer les émulsifiants de synthèse

En Europe, les apports en vitamine E restent souvent inférieurs aux niveaux recommandés. Les stratégies pour lutter contre ces apports insuffisants comprennent la supplémentation des aliments et la formulation de suppléments, notamment à partir d'émulsions enrichies en vitamine E. Ces émulsions sont souvent stabilisées par des émulsifiants de synthèse qui ont récemment été pointés du doigt pour leurs effets néfastes sur la santé. Dans cette étude, les chercheurs ont exploré le potentiel des protéines de légumineuses (pois et lentilles) et des arabinoxylanes comme émulsifiants pour véhiculer de la vitamine E dans des émulsions huile-dans-eau.

En Europe, 80 % de la population a des apports en vitamine E inférieurs à la recommandation, et 13 % présentent des concentrations plasmatiques inférieures à la concentration limite de carence fonctionnelle de 12 µmol/L. Les émulsions huile-dans-l'eau constituent un bon véhicule pour apporter des vitamines liposolubles dans les aliments ou les suppléments, et ainsi lutter contre les déficiences. Les émulsifiants de synthèse, tels que les polysorbates (Tween 80), sont largement employés pour stabiliser ces émulsions et promouvoir la biodisponibilité des micronutriments liposolubles. Cependant, leur consommation a récemment été associée à un risque accru de développer certaines pathologies digestives ou chroniques.

L'objectif de ce travail a donc été d'étudier le potentiel des protéines de légumineuses et des arabinoxylanes, une fibre présente dans le son de céréales, pour développer des émulsions conservant une bioaccessibilité optimale de la vitamine E.

Les résultats ont montré que les protéines de légumineuses et les arabinoxylanes peuvent être utilisés en combinaison pour développer des émulsions de la même qualité que celles stabilisées avec du Tween 80, à la fois en termes de taille des gouttelettes et de stabilité. L'évaluation de la bioaccessibilité de la vitamine E de ces émulsions a alors été évaluée grâce à un modèle de digestion *in vitro*. Les données ont permis de montrer que les émulsions stabilisées par une combinaison de protéines de pois et d'arabinoxylanes permettent de conserver une bioaccessibilité de la vitamine E équivalente à celle obtenue avec du Tween 80.

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats *in vivo*, mais aussi pour vérifier que ces émulsifiants végétaux ne présentent pas d'effets négatifs sur la santé digestive et l'inflammation à bas bruit lorsqu'ils sont consommés de façon chronique.



Nos résultats montrent que la combinaison de protéines de pois et d'arabinoxylanes est une bonne stratégie pour assurer une bioaccessibilité de la vitamine E équivalente à celle obtenue avec les émulsifiants de synthèse. Cette étude constitue un premier pas vers le développement d'émulsifiants plus sains et durables qui pourront être utilisés comme systèmes de vectorisation efficaces pour les micronutriments liposolubles.



CONTACT > emmanuelle.reboul@univ-amu.fr

Référence > doi: 10.1016/j.foodchem.2024.139820

Partenaires > : C2VN • Universidad de Valladolid • Universidad de Lleida



➤ Prévenir le déclin cognitif grâce à une combinaison d'extraits végétaux et d'oméga-3

Le vieillissement de la population représente l'un des plus grands défis majeurs économique, sociétal et de santé publique. Le déclin cognitif lié à l'âge caractéristique du vieillissement est un facteur critique à prendre en compte afin d'améliorer la qualité de vie des personnes âgées. Une des approches prometteuses consiste à proposer des stratégies nutritionnelles.

Le vieillissement de la population représente l'un des plus grands défis majeurs économique, sociétal et de santé publique. D'ici 2050, plus d'un milliard de personnes dans le monde sera âgé de 60 ans ou plus, ce qui accentue l'importance de vieillir dans de bonnes conditions. Dans ce contexte, le déclin cognitif lié à l'âge caractéristique du vieillissement est un facteur critique à prendre en compte afin d'améliorer la qualité de vie des personnes âgées et prévenir la perte d'autonomie. Une des approches prometteuses consiste à proposer des stratégies nutritionnelles. Parmi les nutriments bioactifs existants, les polyphénols de baies (raisin, bleuet), les composés du safran et les acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) issus des poissons sont reconnus pour leurs propriétés bénéfiques sur les fonctions mnésiques.

Les chercheurs ont montré qu'une combinaison de polyphénols, de composés du safran et d'AGPI n-3 chez des souris âgées permet de prévenir efficacement les troubles de la mémoire, tant à court qu'à long terme. Ces effets bénéfiques observés s'expliquent par la modulation de plusieurs processus biologiques clés. En effet, la combinaison de nutriments exerce un puissant effet anti-inflammatoire en régulant les médiateurs lipidiques inflammatoires, notamment les oxylipines pro-résolutives chez la souris adulte dans le cadre d'une inflammation aiguë, et en inhibant les voies de signalisation liées à l'inflammation chez la souris âgée dans le cadre d'une inflammation chronique. De plus, elle limite l'oxydation en augmentant l'expression des enzymes antioxydantes telles que la catalase, la superoxyde dismutase et la glutathion peroxydase chez la souris adulte en réponse à une inflammation aiguë ou à un traitement induisant un vieillissement accéléré.

Par ailleurs, les chercheurs ont aussi démontré que le microbiote intestinal pouvait jouer un rôle important dans ces effets via l'axe intestin-cerveau. En effet, ils ont notamment mis en évidence une augmentation des bactéries favorables à la santé cognitive et une diminution de celles associées à l'inflammation et aux troubles de la mémoire.

Cette approche nutritionnelle multi-cible présente un fort potentiel pour prévenir le déclin cognitif lié à l'âge et favoriser un vieillissement en bonne santé.

Ces résultats ouvrent la voie à de nouvelles stratégies préventives basées sur la nutrition pour lutter contre les effets du vieillissement cérébral.

Nos études démontrent que la combinaison de polyphénols de baies, de composés bioactifs de safran et d'AGPI n-3 de poisson prévient les altérations mnésiques en agissant sur différents processus neurobiologiques majeurs du vieillissement.



CONTACT > corinne.joffre@inrae.fr

Référence > doi: 10.1007/s00011-024-01947-9

doi: 10.1016/j.tjn.2024.09.015

Partenaires > : NUTRINEURO • Université de Bordeaux • Activ'Inside • Senes Solutions



➤ By-pass gastrique et digestibilité protéique

Le by-pass gastrique, une chirurgie bariatrique fréquemment pratiquée, permet de réduire efficacement l'excès de masse adipeuse et les co-morbidités associées. Il peut cependant perturber l'assimilation des protéines et conduire dans certains cas à une détérioration du statut protéique. Les chercheurs ont évalué les conséquences à court et moyen termes d'un by-pass gastrique.

Le by-pass gastrique consiste à réduire le volume de l'estomac et à modifier le circuit alimentaire dans le tube digestif. Il permet de traiter efficacement l'obésité et ses comorbidités mais peut causer des carences nutritionnelles. Les protéines font partie des nutriments dont le statut peut se détériorer après cette opération. Outre la baisse d'apport protéique fréquemment observée, le by-pass est susceptible d'induire une perte de biodisponibilité des protéines et ainsi mettre à mal les stratégies de supplémentation protéique.

L'étude avait pour objectif de déterminer l'évolution des réponses tissulaires et métaboliques à court et moyen termes en utilisant un modèle de rat. Des rats Wistar obèses ont été opérés d'un by-pass gastrique et comparés à des rats faussement opérés (témoins) dont la prise alimentaire était ajustée par pair-feeding aux rats avec by-pass gastrique. Le pair-feeding consiste à donner la même quantité de nourriture au groupe contrôle qu'au groupe opéré, afin de ne pas avoir de différence de prise alimentaire entre les deux groupes. Les animaux ont été évalués après 1 et 3 mois notamment grâce à un test postprandial utilisant des protéines marquées au ¹⁵N, permettant d'évaluer les pertes digestives et métaboliques des protéines alimentaires et la séquestration de l'azote alimentaire dans les organes.

La digestibilité des protéines était identique entre les rats des deux groupes aux deux temps post-opératoires étudiés, de l'ordre de 94 %. L'intestin grêle était hypertrophié chez les rats opérés d'un by-pass gastrique à 1 mois mais cet effet disparaissait à 3 mois. Dans le foie, le muscle et la peau des rats avec by-pass, la quantité d'azote alimentaire captée était significativement inférieure à celle des rats faussement opérés, un effet qui s'atténuait 3 mois après le by-pass dans le muscle et la peau. Enfin, la quantité d'azote alimentaire perdue dans l'urée était augmentée de 3 à 4 % (en valeur absolue) selon le temps postopératoire. En outre, les rats avec by-pass avaient une perte de poids supérieure aux rats témoins alors qu'ils étaient nourris avec la même quantité de nourriture.

Cette étude révèle une perte de biodisponibilité des protéines, non pas au niveau digestif comme supposé, mais au niveau de la gestion métabolique de l'apport protéique, le by-pass induisant une augmentation du catabolisme postprandial. En revanche, le remodelage intestinal permet de compenser les altérations digestives induites par la chirurgie. Ces effets doivent être confirmés chez l'Homme dans le cadre d'une nouvelle étude impliquant une méthodologie similaire de suivi postprandial des protéines.



Chez le rat, le by-pass gastrique n'altère pas la digestibilité protéique mais augmente les pertes métaboliques azotées.



CONTACT > claire.gaudichon@agroparistech.fr

Référence > doi: 10.1371/journal.pone.0307075

Partenaires > : PNCA • Hôpital Bichat



➤ Impact de la végétalisation protéique sur le métabolisme

La végétalisation de l'alimentation, notamment via une consommation accrue de sources de protéines végétales, est encouragée pour des raisons environnementales mais aussi de santé. En effet, les études épidémiologiques montrent que les régimes plus végétalisés sont associés à un moindre risque de maladies chroniques (pathologies cardiovasculaires, diabète de type 2, certains cancers).

Cependant, les mécanismes responsables de ces effets santé sont encore mal caractérisés, du fait d'un manque d'études interventionnelles explorant les effets d'une végétalisation protéique conduite avec des sources diverses au sein d'un régime équilibré. Cette étude visait à explorer les effets métaboliques d'une telle transition nutritionnelle chez des hommes en surpoids à risque cardiométabolique.

▲ Dans une intervention nutritionnelle en dispositif croisé et à haut niveau de contrôle diététique, 19 hommes à risque cardiométabolique ont consommé alternativement un régime flexitarien (deux tiers de protéines végétales dans l'apport protéique total) n'excluant aucun groupe alimentaire mais sobre en produits animaux, et un régime contrôle proche de l'alimentation moyenne des français (un tiers de protéines végétales). Si l'intervention nutritionnelle a eu un effet globalement bénéfique sur différents paramètres cliniques (poids, insulino-résistance...) indépendamment du régime, le régime flexitarien a induit une amélioration légèrement plus marquée du taux de masse grasse et de la glycémie postprandiale. L'étude du métabolome plasmatique, permettant d'explorer un large spectre de voies métaboliques, a été conduite à jeun ou après la consommation d'un repas de charge hyperlipidique après un mois de chacun des régimes. Cette mesure postprandiale, mesurant la capacité d'adaptation des individus à un stress métabolique, s'est révélée particulièrement efficace pour mettre en évidence les différences entre régimes. Parmi les métabolites discriminants, certains étaient déjà identifiés comme des marqueurs de consommation de produits animaux ou végétaux, tandis que d'autres étaient des marqueurs d'effet physiologique. Parmi ceux-ci, des produits de dégradation des acides aminés à chaîne ramifiée et de la lysine (acide α -aminoadipique) étaient moins élevés après le régime flexitarien, cette modulation pouvant être favorable au risque cardiométabolique puisque ces métabolites sont connus pour être positivement associés à l'insulino-résistance. Plusieurs métabolites microbiens issus de la dégradation du tryptophane (par exemple l'acide indole propionique) étaient en outre plus élevés après le régime flexitarien, suggérant une modification du microbiote intestinal.

Ces résultats indiquent que des adaptations métaboliques subtiles se produisent lors d'une végétalisation protéique diversifiée et modérée de l'alimentation, même si elles sont peu visibles sur le phénotype clinique après un mois. Les réorientations métaboliques observées fournissent des pistes de mécanismes explicatifs de la réduction du risque cardiométabolique associée à cette transition, qui restent à valider dans des études de plus grande envergure. Un élargissement des champs d'exploration mécanistique est prévu, via une caractérisation de la réponse inflammatoire, une composante importante du risque cardiométabolique, et de la composition et de l'activité du microbiote fécal, qui pourront être mises en relation avec les effets physiologiques observés chez l'hôte.

« La combinaison de plusieurs approches multi-cibles (métabolomique non ciblée, fluxomique, inflammation) et fonctionnelles (réponse postprandiale, réactivité vasculaire) permet de mettre en évidence des adaptations subtiles du métabolisme pouvant médier des effets bénéfiques d'une végétalisation protéique modérée. »



CONTACT > gaia.lepine@inrae.fr

Référence > doi: 10.1016/j.clnu.2024.10.009

Partenaires > : UNH • PNCA • TOXALIM • CEA • CHU Clermont-Ferrand • CIC • Roquette Frères





Comprendre et agir sur les **COMPORTEMENTS** et les choix alimentaires pour favoriser l'adoption d'une alimentation saine et durable

Les travaux du département Alimentation humaine visent à comprendre par quels mécanismes moléculaires, cellulaires, biologiques, neurobiologiques, physiologiques et psychologiques, les comportements alimentaires s'ancrent au cours des trajectoires de vie et de santé et quels en sont les déterminants. Les chercheurs étudient les évolutions des comportements alimentaires avec l'âge, les expositions, les expériences et les transitions alimentaires.

Les périodes du sevrage, de la diversification alimentaire, les changements de mode de vie (acquisition ou perte d'autonomie, vie en couple, veuvage), les modifications du statut métabolique et physiologique (perte et gain de poids) font l'objet d'une attention particulière.

► Si je vous dis alimentation durable... ► : Quelles sont les représentations sociales des consommateurs français ?

L'adoption de régimes alimentaires durables est essentielle pour préserver l'écosystème de notre planète et le bien-être de ses habitants. Selon les scientifiques, l'alimentation durable repose sur 4 dimensions principales : nutritionnelle-santé, environnementale, socioculturelle et socioéconomique. Toutefois, ce concept « d'alimentation durable » semble difficile à comprendre pour les consommateurs-mangeurs. Ils peuvent n'appréhender que partiellement le concept et les représentations peuvent différer selon les individus, ce qui peut entraîner des difficultés à mettre en pratique les recommandations. Les chercheurs se sont intéressés aux représentations sociales des consommateurs-mangeurs français en matière d'alimentation durable, en recherchant plus particulièrement si des groupes ayant des niveaux d'éducation différents pouvaient avoir des représentations différentes

Il devient impératif d'adopter une alimentation durable pour préserver l'écosystème planétaire et le bien-être de ses habitants. Ainsi, les autorités publiques recommandent de plus en plus l'adoption d'une alimentation saine et durable. Les scientifiques caractérisent l'alimentation durable par quatre dimensions essentielles : elle doit respecter l'environnement, être de bonne qualité nutritionnelle, être culturellement acceptable et économiquement équitable. Cependant, ce concept d'alimentation durable peut être difficile à comprendre pour les consommateurs-mangeurs.

L'objectif de l'étude était d'étudier les représentations et les connaissances des consommateurs-mangeurs français concernant l'alimentation durable. Seules quelques études ont déjà été conduites en France via des entretiens et un questionnaire. De plus, la littérature internationale a montré que la représentation de l'alimentation durable pourrait être différente selon les personnes et selon leur niveau d'études. Les personnes ayant fait des études supérieures seraient plus concernées par l'environnement et auraient plus de connaissances sur la durabilité alimentaire que les personnes n'en ayant pas fait. Les chercheurs ont donc étudié comment le niveau d'éducation pourrait influencer les représentations des consommateurs-mangeurs français sur l'alimentation durable.

273 participants âgés de 20 à 60 ans ont réalisé une tâche d'évocation dans laquelle ils devaient

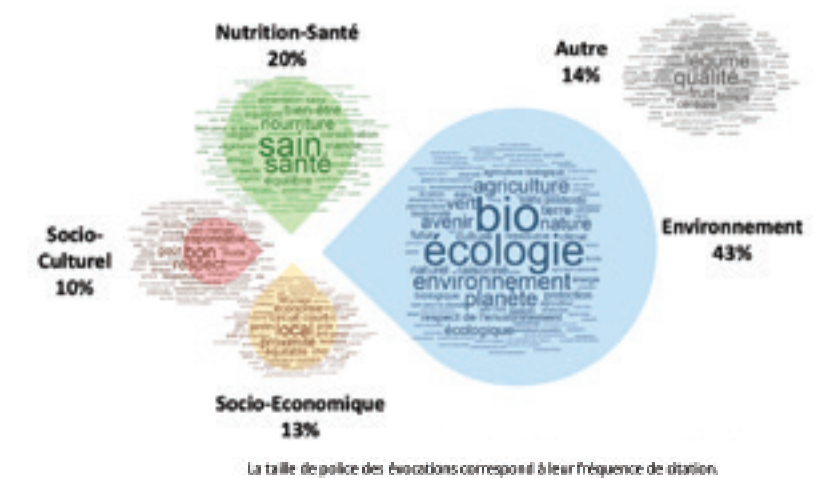
indiquer les 5 premiers mots ou expressions leur venant spontanément à l'esprit lorsque le terme « alimentation durable » leur était soumis. Cette méthode d'association libre de mots permet d'investiguer les représentations sociales. Les résultats ont été analysés selon l'approche structurale des représentations sociales.

Les résultats de l'étude, illustrés par le nuage de mots, montrent que la dimension environnementale est prédominante : les consommateurs-mangeurs associent principalement l'alimentation durable à des pratiques respectueuses de l'environnement, telles que l'agriculture biologique et l'écologie. La dimension nutritionnelle est également présente : les termes « santé », « bien-être » et « équilibre alimentaire » sont fréquemment cités, témoignant d'une prise de conscience des enjeux nutritionnels liés à l'alimentation. Les dimensions socioculturelles et socioéconomiques sont moins évoquées : les aspects liés aux inégalités sociales et à la culture alimentaire sont moins présents dans les représentations des consommateurs-mangeurs.

L'analyse selon le niveau d'éducation a révélé une représentation plus multidimensionnelle du concept d'alimentation durable chez les participants ayant fait des études supérieures comparativement aux participants avec un niveau d'étude inférieur au bac. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que la mémoire sémantique est entraînée pendant les années d'études. Ainsi, les personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé réactiveraient plus facilement leurs connaissances sur l'alimentation durable au moment de la tâche d'évocation, ce qui se reflèterait dans le nombre de mots cités.

Ces résultats montrent que la définition de l'alimentation durable est encore confuse et incomplète pour les consommateurs-mangeurs français de l'échantillon. Pour favoriser une transition vers des régimes alimentaires plus durables, il serait donc nécessaire de clarifier le concept d'alimentation durable en communiquant sur l'ensemble des dimensions. De plus, il semble important de mieux intégrer les dimensions socioculturelles et socioéconomiques, en mettant en avant les liens entre alimentation, culture, traditions et accessibilité économique. Enfin, il serait pertinent de développer des campagnes de communication ciblées, en adaptant les messages en fonction des profils de consommateurs-mangeurs et de leurs représentations.

> L'alimentation durable dans l'esprit des consommateurs :



CONTACT > stephanie.chambaron-ginhac@inrae.fr

Référence > doi: 10.1016/j.foodqual.2024.105224

Partenaires > CSGA

► Une procédure innovante de neurofeedback pour aider les personnes présentant une hyperphagie à réguler une zone de leur cerveau impliquée dans le contrôle de la prise alimentaire

Les troubles hyperphagiques favorisent l'apparition d'une obésité et de comorbidités, ce qui justifie d'explorer de nouvelles stratégies interventionnelles non invasives pour leur prévention et leur traitement. Le neurofeedback a récemment émergé comme une approche particulièrement prometteuse. Les chercheurs ont conçu une méthode de neurofeedback s'appuyant sur la spectroscopie proche infra-rouge fonctionnelle, une méthode peu coûteuse et facile à mettre en œuvre pour enregistrer l'activité cérébrale corticale.

Le neurofeedback est une technique permettant de montrer en temps réel à un sujet une représentation de son activité cérébrale dans une zone d'intérêt, et de lui apprendre à moduler cette activité par ses propres moyens mentaux. Le cortex dorsolatéral préfrontal, impliqué dans la maîtrise de soi et le contrôle cognitif inhibiteur du comportement alimentaire, représente une cible de choix. Afin de valider l'approche d'acquisition et de traitement du signal avec la spectroscopie proche infra-rouge fonctionnelle, une première étude a été menée sur 30 volontaires sains avec une session unique de neurofeedback incluant 15 essais successifs. 60% des participants sont parvenus à contrôler leur cortex dorsolatéral préfrontal sur les 10 meilleurs essais, 43% après correction des effets imputables à la vascularisation du scalp, et donc à des variations générales de la circulation sanguine.

Dans une seconde étude incluant 8 séances de neurofeedback sur un mois chez 15 volontaires sains, une activité accrue dans le cortex dorsolatéral préfrontal ainsi que dans les régions cérébrales impliquées dans le contrôle cognitif et l'apprentissage de l'autorégulation a été mise en évidence. Les changements dans la connectivité fonctionnelle entre la 1^{ère} et la 8^{ème} séance ont révélé une connectivité accrue entre le cortex cingulaire postérieur et le cortex dorsolatéral préfrontal, ainsi que le striatum dorsal. Les résultats comportementaux ont révélé un effet significatif de la faim et de la motivation sur le sentiment de contrôle des participants et une sensation de contrôle plus faible lorsque les participants n'ont pas identifié une stratégie mentale efficace, montrant que certains facteurs comportementaux peuvent affecter l'apprentissage du neurofeedback.

Ce protocole d'intervention est désormais implémenté dans deux études cliniques menées chez des sujets normopondéraux présentant une hyperphagie émotionnelle et chez des patientes souffrant d'obésité et d'addiction alimentaire.

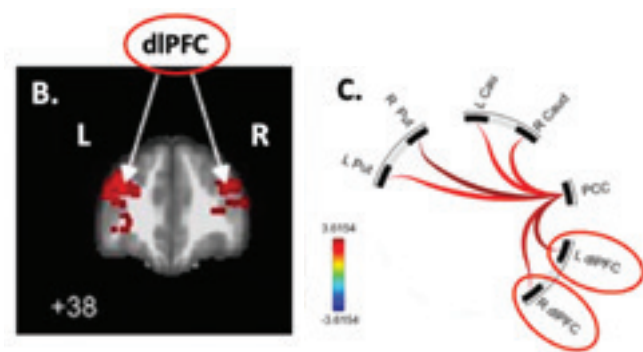
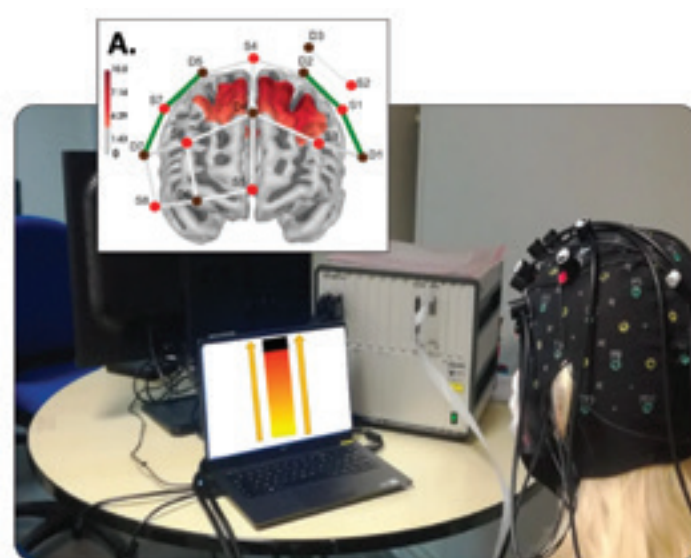


Figure 1.
A. Activation du cortex dorsolatéral préfrontal repérée en spectroscopie proche infra-rouge fonctionnelle durant les sessions de neurofeedback.
B. Activation du cortex dorsolatéral préfrontal en IRMF durant la 8^{ème} et dernière session de neurofeedback.
C. Augmentation de la connectivité fonctionnelle entre différentes zones du cerveau impliquées dans le contrôle inhibiteur (dlPFC), la cognition et l'attention (PCC), le plaisir et la motivation alimentaires (Put, Cau).

► Un rôle du système cérébral de la récompense dans les troubles du comportement alimentaire ?

Les troubles du comportement alimentaire se caractérisent par des symptômes psychiatriques couplés à des altérations métaboliques, amenant à les considérer comme des maladies « métabo-psychiatriques », faisant partie d'un spectre allant de l'hyperphagie à l'anorexie mentale. Ces pathologies sont caractérisées par des altérations de la motivation et du traitement de la récompense. Afin d'établir des liens de causalité entre dysfonctionnement de ce système et dimensions comportementales caractéristiques des troubles du comportement alimentaire, les chercheurs se sont intéressés chez le rongeur à une structure centrale du système de la récompense, le striatum ventral.

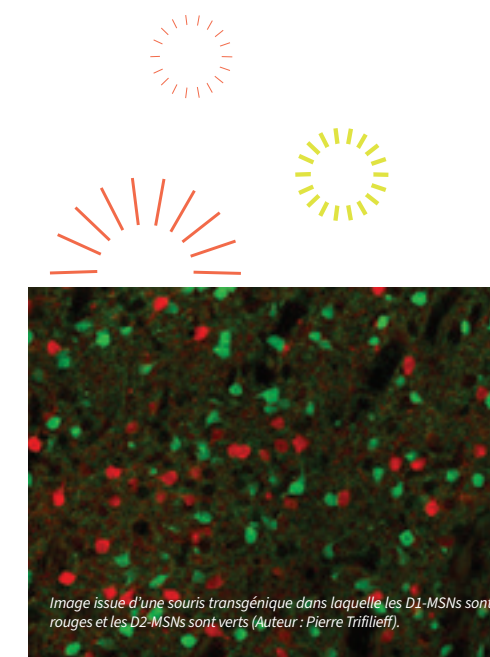
Les troubles du comportement alimentaire sont des maladies multifactorielles résultant d'une interaction entre des facteurs génétiques et environnementaux. Une démarche dimensionnelle transdiagnostique, qui consiste en une approche par continuum plutôt que par catégories, permet de proposer que, plus que des pathologies distinctes, les troubles du comportement alimentaire pourraient faire partie d'un spectre, l'hyperphagie et l'anorexie mentale en constituant les deux extrémités. En particulier, au-delà des habitudes alimentaires inverses, le traitement des récompenses a tendance à être dérégulé de manière opposée dans ces deux pathologies.

En outre, l'hyperactivité physique, liée à l'effet récompensant de l'exercice, est une caractéristique typique de l'anorexie mentale qui persiste après la rémission et pourrait même précéder le développement de la maladie. A l'inverse, l'obésité liée à l'hyperphagie est associée à une hypoactivité physique même après la guérison. De tels chevauchements de dimensions symptomatiques des troubles du comportement alimentaire suggèrent des dysfonctionnements neurobiologiques opposés. En effet, l'imagerie fonctionnelle révèle que l'activité du striatum ventral est régulée de manière opposée chez les sujets anorexiques et obèses en réponse à des indices alimentaires. L'objectif de cette étude a été de déterminer dans quelle mesure un dysfonctionnement du striatum ventral est suffisant pour induire des phénotypes comportementaux caractéristiques des troubles du comportement alimentaire.

Les chercheurs se sont focalisés sur deux sous-populations neuronales principales du striatum ventral, les D1-MSN et D2-MSN. Ils confirment que les D1-MSNs jouent un rôle pro-motivationnel, tandis que les D2-MSNs ont un effet opposé. Ils montrent par ailleurs que ces deux sous-populations répondent différemment à la consommation de nourriture et à l'exercice physique. En outre, l'activation des D1-MSNs diminue la prise alimentaire mais augmente l'activité physique tandis que l'activation des D2-MSNs augmente la prise de nourriture mais diminue l'exercice.

Les chercheurs ont ensuite voulu déterminer l'impact de la manipulation chronique de ces deux sous-populations neuronales. Ils ont montré que favoriser l'activité des D2-MSNs conduit à une prise de poids du fait d'une inactivité physique, tandis que la promotion de l'activité des D1-MSNs augmente fortement l'activité physique, sans compensation de la prise alimentaire, amenant à la perte de poids. En particulier, une suractivité chronique des D1-MSNs accompagnée d'une hypoactivité des D2-MSNs précipite la perte de poids chez des modèles rongeurs de l'anorexie mentale.

Ces résultats mettent en évidence l'importance des sous-populations neuronales du striatum ventral dans la régulation de la balance énergétique. Par ailleurs, ils suggèrent que des dérégulations de l'activité de cette structure pourraient directement participer à la symptomatologie des troubles du comportement alimentaire.



Ces travaux suggèrent qu'une perturbation de la balance entre activité des D1-MSNs et D2-MSNs du striatum ventral pourrait être un mécanisme central dans l'étiologie des troubles du comportement alimentaire, en particulier en ce qui concerne la récompense liée à l'effort physique. Ils mettent en avant la pertinence d'approches visant à cibler spécifiquement ces sous-populations neuronales pour le traitement des troubles du comportement alimentaire.



CONTACT > david.val-laillet@inrae.fr • nicolas.coquery@inrae.fr
Référence > doi: 10.1371/journal.pone.0290005 - doi: 10.1038/s41598-024-69863-w
Partenaires > : NUMECAN • CHU de Rennes • Neurinfo • INRIA



CONTACT > pierre.trifilieff@inrae.fr
Référence > 10.1038/s41467-024-46874-9
Partenaires > NUTRINEURO • Bordeaux SciencesAgro • INSERM • Université de Paris Cité • Université Libre de Bruxelles • Utrecht Brain Center • Altrecht Eating Disorders Rintveld • McGill University



➤ Effets bénéfiques de la chrononutrition sur les altérations de mémoire induites par une alimentation obésogène

L'adolescence est une période de vulnérabilité pour le cerveau qui est encore en maturation. De mauvaises habitudes alimentaires chez l'adolescent peuvent être particulièrement délétères et affecter des processus cérébraux comme la mémoire. Les chercheurs ont mené une étude pour savoir si la chrononutrition pouvait permettre de prévenir les déficits de mémoire.

▲ Un modèle rongeur de consommation de régime obésogène pendant la péri-adolescence a été développé pour caractériser les troubles de la plasticité cérébrale et de la mémoire. Dans ce modèle, les chercheurs ont mis en place une intervention nutritionnelle, la chrononutrition, consistant à enlever l'accès à la nourriture lors de la phase inactive des souris. Ils ont comparé les gènes exprimés dans l'hippocampe des souris nourries avec un régime standard, un régime obésogène ad libitum ou bien avec un régime obésogène mais avec chrononutrition.

Les chercheurs ont montré par diverses tâches comportementales que la restriction temporelle de l'accès à l'alimentation obésogène sur 14h par jour pendant 4 semaines est suffisante pour prévenir les troubles de mémoire associée à la consommation ad libitum d'une alimentation obésogène.

Ils ont pu observer qu'au niveau de l'hippocampe, la voie de signalisation des hormones thyroïdiennes jouait un rôle majeur dans les altérations de mémoire chez les souris soumises à un régime obésogène ad libitum et dans leur prévention par la chrononutrition.

Les déficits de mémoire sont associés à une altération de l'expression des gènes régulant la neurotransmission du glutamate dans les astrocytes. L'expression de ces gènes ainsi que les performances de mémoire sont restaurées par une infusion de T3 (forme active de l'hormone thyroïdienne) dans l'hippocampe des souris sous régime obésogène ad libitum. La chrononutrition permet de restaurer l'expression circadienne de ces gènes astrocytaires, ce qui peut expliquer ses effets bénéfiques.

Les chercheurs poursuivent les analyses sur ce modèle rongeur de consommation précoce d'alimentation obésogène afin de vérifier le lien mécanistique entre les hormones thyroïdiennes, la régulation de la neurotransmission glutamatergique dans les astrocytes de l'hippocampe et les performances de mémoire, et de comprendre plus précisément comment la chrononutrition permet de restaurer ces fonctions. En parallèle, ils mènent un essai clinique chez des adolescents obèses pour étudier la désynchronisation de l'alimentation par rapport aux rythmes circadiens ainsi que les effets sur l'humeur et la mémoire de la chrononutrition sur 4 semaines. La démonstration des effets bénéfiques de la chrononutrition sur la mémoire et la compréhension des mécanismes en jeu sont importants pour promouvoir chez l'adolescent l'établissement d'habitudes alimentaires respectant les rythmes circadiens.



CONTACT > marie-pierre.moisan@inrae.fr

Référence > doi: 10.1016/j.molmet.2024.102061

Partenaires > NUTRINEURO • Institut de Génomique Fonctionnelle INSERM - CNRS • Institut de Neurosciences Cellulaires et Intégratives CNRS





Caractériser & prévenir les **RISQUES** **toxicologiques**

L'alimentation constitue une voie majeure d'exposition à des contaminants chimiques, à des produits néoformés ou à des toxines qui sont directement ou indirectement impliqués dans de nombreuses maladies telles que les cancers, les dysfonctionnements métaboliques, les atteintes du développement ou des défenses immunitaires.

Le département AlimH traite des questions de l'identification et de la caractérisation des dangers liés aux expositions, de l'élucidation des mécanismes d'action et du développement de stratégies de remédiation et de prévention des risques.

➤ Le développement fœto-placentaire est altéré par une exposition maternelle à un mélange de contaminants

Les femmes en âge de procréer sont quotidiennement exposées à divers perturbateurs endocriniens, pouvant affecter la trajectoire de santé de la descendance. Dans ce contexte, l'objectif de l'étude était d'évaluer les effets fœto-placentaires d'une exposition maternelle à un mélange de contaminants, à une dose reproduisant l'exposition des femmes, dans un modèle lapin.

Le mélange de contaminants administré dans un modèle lapin a été défini sur la base de données de l'exposome chimique maternel du regroupement de cohortes HELIX, qui vise à étudier les expositions aux facteurs environnementaux de la conception jusqu'à la fin de vie, et de la cohorte INMA qui appréhende le rôle des polluants environnementaux durant la grossesse sur la croissance et le développement des enfants. En se basant sur les associations entre les contaminants retrouvés dans les urines des femmes enceintes et la santé des nouveau-nés, les chercheurs ont établi un mélange incluant un bisphénol, un phtalate, un retardateur de flammes, deux substances perfluoroalkylées et trois pesticides organochlorés.

Les lapines ont été exposées par voie orale au mélange, soit lors de la folliculogénèse et de la période pré-implantatoire, soit uniquement au cours de la période pré-implantatoire. A 80 heures post-insémination, leurs embryons ont été collectés et transférés dans des lapines receveuses témoins non exposées au mélange. La gestation a été suivie par échographie et un phénotypage fin des unités fœto-placentaires a été réalisé.

Ce mélange n'a affecté que faiblement les mesures échographiques, puisque seul le volume placentaire était augmenté dans le groupe ayant reçu le mélange au cours de

la folliculogénèse et de la période préimplantatoire comparé au groupe exposé uniquement au cours de la période préimplantatoire. L'exposition au mélange au cours de ces différentes périodes n'a pas affecté la biométrie fœto-placentaire en fin de gestation. Par contre, la biochimie fœtale du groupe soumis au mélange pendant la folliculogénèse et la période pré-implantatoire s'est caractérisée par une diminution des triglycérides plasmatiques par rapport au groupe témoin non exposé. De plus, le cholestérol total, l'urée, les enzymes ASAT et ALAT du sang fœtal étaient perturbés dans les deux groupes exposés. L'analyse de la structure placentaire a révélé une augmentation de la fraction volumique de l'espace sanguin maternel dans le groupe exposé durant la folliculogénèse et la période préimplantatoire comparé au groupe témoin non exposé. De plus, plusieurs gènes placentaires se sont révélés être différenciellement exprimés entre les groupes, comparés deux à deux, de manière sexe-spécifique, avec un écart plus marqué chez les femelles que chez les mâles. Il s'agissait notamment de gènes impliqués dans le métabolisme des lipides, du cholestérol et des médicaments/xénobiotiques.

Ces résultats indiquent que l'exposition maternelle à des contaminants environnementaux lors de périodes cruciales, bien qu'elle n'ait altéré que modestement le développement fœto-placentaire, conduit à des perturbations de l'expression des gènes placentaires et de la biochimie sanguine fœtale, avec de potentiels effets à long terme sur le phénotype de la progéniture. Les effets sur la biochimie fœtale nous amènent à explorer l'axe « placenta-foie » et plus particulièrement les profils en acides gras de ces tissus mais aussi du plasma maternel et fœtal. Les conséquences à plus long terme sur la descendance incluront les profilages en acides gras dans ces différents compartiments ainsi que l'étude histologique du foie.



La face cachée de nos aliments et leurs répercussions sur la santé de la future descendance



CONTACT > anne.couturier-tarrade@inrae.fr
Référence > doi: 10.1016/j.envres.2024.119829
Partenaires > BREED • TOXALIM • GENPHYSE • ISARA • AP-HP

➤ Exposition aux contaminants par voie alimentaire pendant la grossesse et allergies chez les enfants

L'exposition aux contaminants environnementaux pendant la période de vie périnatale a été associée dans la littérature à un risque plus élevé d'asthme ou d'allergies pendant l'enfance.

L'alimentation représente une importante source d'exposition aux contaminants chimiques chez la femme enceinte et chez l'enfant, pourtant très peu d'études ont porté sur l'effet d'une exposition multiple aux contaminants.

« L'exposition prénatale aux contaminants chimiques, notamment par voie alimentaire, est associée à des risques accrus d'eczéma, de sifflements et d'allergies alimentaires chez l'enfant, comme l'a montré l'analyse de données de la cohorte ELFE portant sur plus de 200 contaminants. En particulier, un mélange contenant des furanes, des éléments traces métalliques et des hydrocarbures aromatiques polycycliques est associé à un risque plus élevé d'eczéma.

Les analyses ont été menées chez plus de 11000 couples mère-enfant de la cohorte de naissance ELFE qui a pour but de mieux connaître les facteurs qui peuvent influencer le développement physique et psychologique de l'enfant, sa santé et sa socialisation. L'exposition par voie alimentaire à plus de 200 contaminants chimiques a été évaluée en croisant les données de consommation des mères lors des 3 derniers mois de grossesse avec des données de contamination des aliments issues de l'Etude Alimentation Totale 2 qui a pour ambition de surveiller l'exposition des populations à des substances chimiques présentes dans les aliments.

A partir de ces données, huit mélanges de contaminants ont pu être identifiés. Les chercheurs ont ainsi pu mettre en évidence que l'exposition prénatale par voie alimentaire à un mélange de contaminants composé principalement de furanes, d'éléments traces métalliques et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques était associée à un risque plus élevé d'eczéma chez l'enfant jusqu'à 5,5 ans. Par ailleurs, l'exposition par voie alimentaire à deux mélanges composés principalement de pesticides était associée à un risque plus élevé de sifflements et d'allergie alimentaire.

Le résultat concernant le mélange composé de furanes, d'éléments traces métalliques et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques rejoint les conclusions de travaux menés précédemment dans la cohorte mère-enfant EDEN qui examine les déterminants pré et post-natals précoces du développement et de la santé de l'enfant. En effet, ce mélange avait déjà été associé dans la cohorte EDEN à un risque plus élevé de rhinite allergique. Il n'était cependant fortement corrélé à la consommation d'aucun aliment ou groupe d'aliments particulier.

Ces résultats soulignent l'importance d'explorer les liens entre l'exposition multiple aux contaminants chimiques pendant la grossesse et la santé de l'enfant.



CONTACT > blandine.delauzon-guillain@inrae.fr
Référence > doi: 10.1186/s12940-023-01046-y
Partenaires > CRESS • MTS • CESP • ANSES • Université de Lorraine



➤ Exposition alimentaire à des profils de pesticides et variation de poids

Les effets de l'exposition aux pesticides via l'alimentation sur les variations de poids au cours du temps dans la population générale adulte ont été peu étudiés.

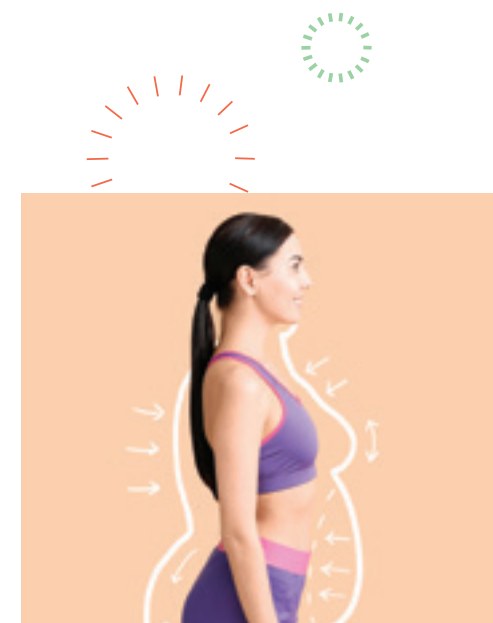
Il a pu être observé que, chez la souris, les dérégulations métaboliques induites par une exposition à certains pesticides diffèrent en fonction du sexe.

Dans cette étude, les chercheurs se sont donc focalisés sur un éventuel dimorphisme sexuel, au regard des perturbations endocriniennes engendrées par certaines de ces substances.

Dans cette étude, basée sur un sous échantillon de la cohorte NutriNet-Santé, les chercheurs ont considéré les pesticides en mélange auxquels l'Homme est exposé à faibles doses de manière chronique. Ils ont réalisé des analyses sur plus de 32 000 individus, en distinguant les hommes et les femmes, et en différenciant également les femmes non ménopausées des femmes ménopausées, compte tenu des possibles perturbations hormonales engendrées par certains pesticides étudiés. L'exposition à ces substances était estimée via des données de consommation, issues d'un questionnaire de fréquence alimentaire proposé en 2014, qui tenait compte pour chaque aliment du mode de production (agriculture conventionnelle ou biologique) et des données de contamination des aliments d'origine végétale, suite à des mesures réalisées en laboratoire. Trois des vingt-cinq pesticides étudiés étaient autorisés en agriculture biologique.

La durée de suivi médian était de 7 ans, durée pertinente pour appréhender les variations pondérales individuelles. Quatre profils de pesticides ont été identifiés, l'un d'entre eux étant positivement corrélé à ceux autorisés en agriculture biologique, les trois autres étant plutôt des mélanges spécifiques de certains pesticides de synthèse étudiés. Globalement, au cours du temps, les femmes non ménopausées prenaient du poids, tandis que les hommes et les femmes ménopausées en perdaient. Pour deux de ces quatre profils, les chercheurs ont observé une différence de réponse selon le sexe. En effet, une plus faible exposition aux pesticides de synthèse était associée à une moindre prise de poids chez les femmes non ménopausées uniquement. Les hommes plus exposés à un profil corrélé à certaines substances de synthèse perdaient plus de poids que les autres. Parmi les substances de ce mélange, aucune ne présentait spécifiquement de propriétés en lien avec les variations de poids dans les études menées chez l'animal. La robustesse de ces résultats a été confirmée par de nombreuses analyses complémentaires.

L'association observée chez les femmes apporte un argument supplémentaire pour encourager la population générale à augmenter sa consommation de produits issus de l'agriculture biologique, et pour tendre vers la diminution de l'utilisation agricole de pesticides de synthèse. Une réduction de la mortalité, de l'incidence des maladies cardiovasculaires, des cancers et des maladies respiratoires, en lien avec une moindre exposition alimentaire aux pesticides de synthèse, a déjà été observée dans de nombreuses études. L'association observée chez les hommes nécessite des recherches plus approfondies afin de comprendre les mécanismes sous-jacents.



« Les femmes non ménopausées moins exposées aux pesticides de synthèse par l'alimentation prennent moins de poids que les autres.



CONTACT > justine.berlivet@eren.smbh.univ-paris13.fr
Référence > doi: 10.1016/j.envint.2024.108485
Partenaires > CRESS • TOXALIM



➤ L'additif alimentaire E551 favoriserait la mise en place d'une maladie cœliaque

Le E551, ou dioxyde de silicium, utilisé comme additif antiagglomérant, réduit la tolérance aux protéines alimentaires et favoriserait la mise en place d'une maladie cœliaque.

Ces travaux constituent une première étape dans l'étude du potentiel toxique de cet additif alimentaire nanométrique présent dans de multiples produits de consommation.

Le E551, plus communément connu sous le nom de dioxyde de silicium, est une poudre constituée de nanoparticules (particules inférieures à 100 nm) utilisée comme additif antiagglomérant dans des aliments secs ou en poudre tels que les soupes, les épices, les préparations infantiles à base de céréales, les cafés solubles et produits chocolatés ou encore les pâtes alimentaires lyophilisées. On le retrouve ainsi dans la liste des ingrédients de plus de 3700 produits alimentaires de par le monde. Il empêche la formation de grumeaux, pour préserver le goût, la texture et la stabilité des aliments. Cet additif est également très employé comme auxiliaire technologique, il est indispensable dans les étapes de transformation des aliments. Dans ce cas il n'apparaît pas dans la liste des ingrédients constituant la recette, mais est tout de même présent dans le produit final. L'être humain est ainsi exposé de façon quotidienne et à faible dose au E551 via son alimentation.

Des chercheurs d'INRAE, en collaboration avec l'université McMaster au Canada, se sont donc interrogés sur les impacts que pouvait avoir cette exposition sur le système immunitaire intestinal. Plus spécifiquement, ils ont exploré son effet sur la tolérance orale aux protéines alimentaires, une fonction essentielle pour la nutrition qui consiste à bloquer, par la mise

en place d'une réponse tolérante dans l'intestin, les réactions immunitaires inflammatoires dirigées contre les protéines des aliments que l'on consomme. Elle est mise en place depuis le tout début de la vie, et sa perturbation est la première étape du développement d'une allergie (arachides, lait de vache, poissons, crustacés, œufs...) ou d'une intolérance au gluten, telle que la maladie cœliaque.

La maladie cœliaque est une maladie auto-immune liée à l'ingestion de gluten (protéine présente dans de nombreuses céréales comme le blé, le seigle et l'orge) chez des personnes présentant une susceptibilité génétique. Elle se caractérise par une inflammation de l'intestin, des douleurs abdominales, une diarrhée et peut conduire à un amaigrissement et des carences chez les patients. La fréquence de cette maladie continue d'augmenter dans le monde sans que l'on en comprenne complètement les mécanismes responsables. Ici, les chercheurs ont montré, chez la souris, qu'une exposition quotidienne au E551 pendant 3 mois réduit la mise en place de la tolérance aux protéines alimentaires et favorise l'induction d'une inflammation intestinale, preuve d'une intolérance. Comment ? L'exposition à cet additif réduit le nombre de cellules immunitaires intestinales produisant des molécules anti-inflammatoires nécessaires au maintien de la tolérance aux aliments. En utilisant un modèle de souris génétiquement proche des malades cœliaques, les chercheurs ont ensuite montré qu'un traitement quotidien au E551 aggrave les signes inflammatoires caractéristiques de cette maladie chronique.

Cette étude appuie l'hypothèse que l'exposition chronique au E551 alimentaire pourrait agir comme un composant favorisant l'apparition d'une intolérance au gluten chez les personnes génétiquement susceptibles de développer la maladie cœliaque.

Ces travaux sont les premiers à identifier un potentiel de danger toxique lié à cet additif, jusqu'alors réputé sécuritaire en alimentation. Afin de garantir que ce potentiel de danger puisse in fine être pris en compte dans l'évaluation du risque de consommation du E551 pour l'humain, les chercheurs ont utilisé des protocoles d'exposition intégrant les attentes des agences de sécurité sanitaire des aliments européennes et d'Amérique du Nord (European Food Safety Authority, Santé Canada), en travaillant à des doses humaines, sur le long terme et avec l'additif incorporé à l'aliment.



CONTACT > bruno.lamas@inrae.fr
Référence > doi: 10.1289/EHP12758
Partenaires > TOXALIM • McMaster University

➤ Évaluation de la toxicité des mycotoxines à partir de données *in vitro*

Les mycotoxines constituent des contaminants naturels de nombreuses denrées d'origine végétale. L'ANSES a émis un avis de risque potentiel pour les consommateurs du fait de la contamination de l'alimentation par ces composés. Parmi les principaux groupes de mycotoxines faisant l'objet de plans de surveillance figurent les trichothécènes. Les chercheurs se sont penchés sur la toxicité de ces molécules.

Les mycotoxines sont des produits du métabolisme secondaire de plusieurs espèces de moisissures et plus de 300 molécules ont été identifiées à ce jour. Elles constituent des contaminants naturels de nombreuses denrées d'origine végétale. Les derniers

rapports montrent que, du fait des changements climatiques globaux, les mycotoxines représentent des dangers émergents en Europe, zone jusqu'à considérée comme relativement indemne. L'ANSES a émis un avis de risque potentiel pour les consommateurs du fait de la contamination de l'alimentation par ces composés. L'étude s'est focalisée sur la toxicité d'une famille de mycotoxines, les trichothécènes. Treize molécules issues de cette famille ont été testées *in vitro* sur des cellules humaines représentatives des différents organes cibles de ces contaminants (foie, colon, rein et cerveau). Les chercheurs ont observé des différences importantes de toxicité (cytotoxicité et génotoxicité) entre ces molécules et également en fonction des types cellulaires testés. Les cellules neuronales étaient les plus sensibles à ces composés, notamment aux mycotoxines T-2 et HT-2. Ces données de toxicité cellulaire ont ensuite été analysées avec des modèles mathématiques afin d'extrapoler les doses journalières ingérées potentiellement dangereuses pour l'Homme. Après confrontation aux valeurs d'exposition à ces contaminants de la population en France publiées par l'ANSES, les chercheurs ont démontré l'existence d'un risque non négligeable, en particulier pour les cerveaux des enfants en cas d'exposition aux mycotoxines T-2 et HT-2. Cette étude apporte des éléments nouveaux aux agences de réglementation françaises et européennes d'évaluation du risque (ANSES et EFSA) concernant le risque associé aux trichothécènes. Ces travaux permettent de mieux cibler les mycotoxines à rechercher prioritairement dans l'alimentation afin de limiter, autant que faire se peut, l'exposition de la population à ces contaminants, notamment pour les enfants.



Cette étude démontre la possibilité de réaliser une évaluation du risque des contaminants alimentaires uniquement à partir de leurs données de toxicité *in vitro* et de l'exposition de la population.



CONTACT > marc.audebert@inrae.fr
Référence > doi: 10.1016/j.fct.2024.114916
Partenaires > TOXALIM • ANSES • Health Canada

➤ Les fibroblastes sous-épithéliaux : un nouveau levier de prévention du cancer colorectal

Le cancer colorectal se développe en partie suite à une exposition à des facteurs de risque évitables parmi lesquels figure une alimentation riche en viande rouge et en lipides polyinsaturés, ce qui augmente le risque d'exposition des cellules épithéliales intestinales aux produits de lipoperoxydation tel que le 4-hydroxy-2-nonéanal (4-HNE). Or, ces molécules, qui sont cytotoxiques et hautement mutagènes, pourraient conduire à l'initiation de la cancérogenèse colorectale. En outre, au regard des données actuelles, le développement du cancer colorectal est déterminé non seulement par l'accumulation progressive de mutations dans les cellules épithéliales, mais aussi par leurs interactions avec le mésenchyme, et notamment avec les fibroblastes sous-épithéliaux.

4-HNE sur l'initiation tumorale de colonocytes murins et d'évaluer l'influence du microenvironnement fibroblastique sur la réponse dans le but d'identifier un nouveau levier de prévention du cancer colorectal. Pour réaliser cette étude, les chercheurs ont utilisé un modèle de coculture entre des colonocytes et des fibroblastes normaux immortalisés provenant du côlon de souris.

Après trois semaines d'exposition au 4-HNE, les colonocytes étaient soumis à un test de croissance sans ancrage, une caractéristique de la transformation tumorigène des cellules épithéliales.

Les résultats montrent que le dialogue épithélio-mésenchymateux protège les colonocytes des altérations provoquées par ce produit de lipoperoxydation. Cette protection met en jeu la voie de signalisation des BMP (Bone Morphogenetic Protein) et devrait permettre l'élaboration de stratégies de prévention nutritionnelle visant à enrayer l'initiation du cancer colorectal grâce à une augmentation de la production de ligands BMP par les fibroblastes.

Dans ce cadre, l'objectif général du projet était de déterminer l'effet d'une exposition chronique à une dose non cytotoxique de



CONTACT > pascale.plaisancie@inrae.fr
Référence > doi: 10.1371/journal.pone.0302932
Partenaires > TOXALIM



FAVORISER Les transitions

nécessaires au développement de
systèmes alimentaires sains et durables

L'alimentation durable englobe à la fois les notions de sécurité alimentaire (en référence à la production, l'offre, l'accessibilité, la disponibilité et la qualité de la nourriture) et de sécurité nutritionnelle qui, elle, se réfère à l'apport de quantités adéquates et métaboliquement disponibles d'énergie et de nutriments essentiels permettant d'atteindre chez les individus et dans une population donnée un statut nutritionnel considéré comme satisfaisant pour maintenir la santé et le bien-être sur le long terme.

La sécurité nutritionnelle intègre aussi la santé et le bien-être, des préoccupations sociales, et des questions relatives aux ressources alimentaires et à la préservation de l'environnement. Le département AlimH vise à caractériser et favoriser l'adoption de régimes alimentaires idoines dans des systèmes alimentaires sains et durables.



» Comment optimiser les bénéfices santé des tomates ?

La consommation de tomates est connue pour ses effets bénéfiques sur la santé cardiométabolique, mais la qualité nutritionnelle de ces aliments varie selon le génotype et les conditions d'irrigation. Les chercheurs ont cherché à savoir dans quelles conditions les bénéfices santé étaient plus optimaux.

La consommation de tomates est classiquement associée à des effets bénéfiques favorisant la santé cardiométabolique, dans le cadre d'une approche de type nutrition préventive. Cependant, de nombreux paramètres peuvent modifier de façon très importante la qualité nutritionnelle et donc la valeur santé des tomates, notamment le génotype de la tomate ainsi que les conditions d'irrigation des cultures. Les chercheurs ont supplémenté des rongeurs soumis à un régime obésogène avec des poudres de tomates de différents génotypes et cultivées dans diverses conditions d'irrigation. Les résultats montrent que le génotype de la tomate, et non le déficit hydrique, influence de manière significative les effets biologiques des tomates sur les souris. Parmi les différentes variétés testées, si toutes conduisent à une amélioration de la glycémie à jeun, et la plupart sont associées à une diminution de la teneur en lipides du foie, une seule variété de tomate, riche en β -carotène, permet en plus de limiter la prise de poids, l'adiposité et de restaurer l'homéostasie du glucose en améliorant la tolérance à l'insuline et au glucose.

Ces résultats indiquent que la teneur en phytonutriments du fruit peut varier considérablement en fonction du génotype, influençant ainsi les effets biologiques. En revanche, le déficit hydrique n'a pas eu d'impact majeur, les tomates issues de culture en déficit d'irrigation présentant des effets similaires à celles normalement irriguées.

Les résultats de cette étude ouvrent des perspectives intéressantes pour la recherche en nutrition et l'industrie alimentaire. Ils suggèrent que le choix du génotype de tomates est crucial pour maximiser les effets santé du fruit dans le but de prévenir les désordres métaboliques liés à l'obésité. De plus, l'absence d'effets négatifs du déficit hydrique sur les bienfaits pour la santé indique que des pratiques agricoles plus durables, réduisant l'irrigation, pourraient être mises en œuvre sans compromettre les qualités nutritionnelles des tomates.

Des études complémentaires sur la transformation, et notamment le séchage, sont en cours, pour valoriser les tomates sous forme de poudres optimisées, en vue d'applications cliniques et industrielles.

« Le génotype de la tomate influence significativement ses effets biologiques, notamment sur la glycémie et la prise de poids chez la souris, plus que le niveau d'irrigation. »



CONTACT > jean-francois.landrier@univ-amu.fr
Référence > doi: 10.1016/j.foodres.2024.114512
Partenaires > C2VN • PSH • SQPOV • GEPEA • CTCPA Avignon • Capsulae



➤ Quelles relations entre exposition au paysage alimentaire et pratiques d'approvisionnement ?

Le paysage alimentaire, c'est-à-dire l'ensemble des lieux où il est possible de se procurer des aliments et auquel est exposée une population, peut influencer les comportements alimentaires. Les chercheurs ont étudié les relations entre les pratiques d'approvisionnement alimentaire des ménages et les caractéristiques de leur paysage alimentaire dans leur espace d'activité, comprenant non seulement le domicile, mais aussi les lieux d'activité principale et les trajets entre ces lieux.

Alors que de nombreuses études ont analysé le lien entre l'exposition autour du domicile à un paysage alimentaire et les comportements alimentaires, peu d'investigations ont évalué le lien entre l'exposition à un paysage alimentaire à la fois autour du domicile et des lieux d'activités et la fréquentation des lieux d'approvisionnement alimentaire. Analyser ces relations plus directes entre exposition et pratiques paraît cependant essentiel pour mieux comprendre l'influence du paysage alimentaire sur les comportements alimentaires des individus et proposer des recommandations pour un urbanisme commercial favorable à la santé. Il est notamment intéressant de considérer les nouvelles modalités d'approvisionnement, de

plus en plus populaires, comme l'e-commerce ou les paniers de producteurs. Une étude auprès de 415 ménages représentatifs de la métropole de Montpellier avait pour objectif d'évaluer les pratiques d'approvisionnement alimentaire et les associations avec leur paysage alimentaire objectif et perçu autour du domicile et dans leur espace d'activité (par exemple autour du lieu de travail). Cette investigation a apprécié l'exposition des ménages à certaines caractéristiques de leur paysage alimentaire (nombre, densité relative et proximité de différents commerces alimentaires) autour du domicile et dans l'espace d'activité des ménages à l'aide d'un système d'information géographique. Plusieurs profils de ménage ont été identifiés. Les ménages du profil « Supermarché » (49 % des ménages), faisant la majorité de leurs dépenses alimentaires mensuelles en supermarché, étaient moins susceptibles de vivre à proximité d'une épicerie et ceux du profil « Hard Discounts » (12 %) avaient moins tendance à percevoir la présence d'un producteur dans leur espace d'activité. En revanche, les ménages du profil « Diversifiés » (18 %), caractérisés par une part des dépenses élevée en magasins bio, marchés, commerces spécialisés et producteurs, étaient plus susceptibles d'avoir un marché dans leur espace d'activité. Aussi, les ménages du profil « Spécialisés » (9 %), avec des dépenses élevées en primeurs et autres commerces spécialisés, avaient plus tendance à habiter à proximité de tels commerces. Enfin, les ménages du profil « Epicerie-Drive », (12 %) achetant une grande part de leurs aliments en épicerie ou par commande en ligne, ne présentaient pas d'association significative aux caractéristiques de leur paysage alimentaire.

Cette étude a mis en évidence des pratiques d'approvisionnement alimentaire diversifiées, en adéquation avec certaines caractéristiques du paysage alimentaire objectif et perçu. Les indicateurs du paysage alimentaire évalués autour du domicile ont davantage mis en évidence des associations avec les commerces de proximité, mais ceux évalués dans l'espace d'activité des ménages ont permis de mettre en évidence des associations qui seraient passées inaperçues, en se limitant aux zones entourant le domicile. Ces travaux investiguant comment les consommateurs interagissent avec leur paysage alimentaire ont aidé les politiques de la métropole de Montpellier à améliorer la planification commerciale de la ville pour favoriser l'accès à l'alimentation des habitants.

Les résultats de l'étude fournissent des recommandations pour un urbanisme commercial favorisant un meilleur accès à une alimentation saine et durable pour tous.



CONTACT > caroline.mejean@inrae.fr
Référence > doi: 10.1017/s1368980023002720
Partenaires > MOISA • INNOVATION



➤ Les changements économiques et d'environnement alimentaire, moteurs de la dégradation de la qualité nutritionnelle des importations alimentaires aux Antilles Françaises

Les mutations de l'environnement alimentaire peuvent être des déterminants importants des transitions nutritionnelles. Les chercheurs se sont intéressés aux changements d'environnement alimentaire liés à la mondialisation des échanges et à la dépendance croissante aux importations alimentaires qui constituent actuellement 90% des calories consommées aux Antilles. Les résultats de l'étude sont essentiels pour comprendre les enjeux de santé publique et d'autonomie alimentaire dans les territoires ultramarins.

Les Antilles connaissent une transition nutritionnelle avancée mais toujours en cours, marquée par une dégradation rapide de l'état nutritionnel et de la qualité de l'alimentation. Les chercheurs ont cherché à évaluer les déterminants de l'évolution, sur 20 ans, de la qualité nutritionnelle des importations alimentaires aux Antilles (Guadeloupe et Martinique).

Pour ce faire, ils ont utilisé un ensemble de données originales appariant les données de douanes de 1995 à 2016 avec les données de

la table de composition des aliments appelée Ciquil détaillant les valeurs nutritionnelles de 2800 produits alimentaires.

Sur 20 ans, les importations par habitant en protéines animales ont connu une augmentation globale de 10 %. Parmi ces importations, celles issues d'aliments ultra-transformés ont augmenté de 63 % en Guadeloupe et de 22 % en Martinique. Les importations par habitant en acides gras saturés ont connu respectivement une hausse de 8 % et de 11 % en Guadeloupe et Martinique. Celles provenant d'aliments ultra-transformés ont largement contribué à cette tendance, augmentant de 50 % en Guadeloupe et de 70 % en Martinique. Les importations par habitant en sucres ont augmenté sur 20 ans de 10 % en Guadeloupe et 27 % en Martinique avec celles provenant d'aliments ultra-transformés qui ont considérablement augmenté, représentant plus de 90 % des importations totales de sucres. Malgré une stabilité globale, on note un accroissement important des importations en kilocalories issues d'aliments ultra-transformés en Guadeloupe et en Martinique.

L'augmentation du PIB par habitant aux Antilles sur 20 ans est associée à l'évolution des importations par habitant en termes de kilocalories et d'acides gras saturés. L'expansion de la grande distribution est aussi significativement associée à l'augmentation des importations par habitant en kilocalories, protéines animales et acides gras saturés. En revanche, l'augmentation du taux d'activité des femmes sur le marché du travail sur 20 ans n'est corrélée à aucun des marqueurs nutritionnels des importations.

Cette étude confirme une transition nutritionnelle à un stade avancé aux Antilles, avec une dégradation du contenu nutritionnel des importations, notamment une augmentation des importations en protéines animales, acides gras saturés et sucres provenant d'aliments ultra-transformés. Les déterminants de ces évolutions sont le développement économique des Antilles et les changements d'environnement alimentaire au travers de l'expansion de la grande distribution. Ces résultats sont en accord avec la littérature en Amérique Latine et dans les Caraïbes sur le rôle de la transformation des environnements alimentaires dans la transition nutritionnelle.



Aux Antilles, le développement économique et les changements d'environnement alimentaire sont les moteurs de la dégradation de la qualité nutritionnelle des importations sur 20 ans.



CONTACT > caroline.mejean@inrae.fr
Référence > doi: 10.1007/s41130-024-00214-z
Partenaires > MOISA • ART-Dev • DAAF Guadeloupe • DAAF Martinique



► Davantage de plats végétariens au menu : une expérience réussie en restauration universitaire

Depuis le 1^{er} janvier 2023, la loi Egalim impose aux établissements publics de proposer une option végétarienne tous les jours. Dans cette continuité, les Crous visent un taux de prise de 30 % de repas végétariens en 2025. Un des freins essentiels à surmonter pour atteindre cet objectif est l'acceptabilité d'une telle mesure par les étudiants. Pour la première fois en France à l'échelle d'un restaurant universitaire du Crous, une équipe INRAE a expérimenté le doublement de l'offre de plats végétariens.

▲ Afin de tester en conditions réelles le comportement des étudiants dans un contexte d'augmentation de l'offre végétarienne, un partenariat entre INRAE et le Crous Bourgogne-Franche-Comté a permis de mener une étude interventionnelle au sein d'un restaurant universitaire (Ru) du Crous à Dijon, où plus de 2 000 repas sont servis tous les midis.

L'étude s'est déroulée en 2 phases qui duraient chacune 2 semaines : une phase contrôle durant laquelle 24 % des plats servis étaient végétariens, et une phase d'intervention où

cette proportion passait à 48 %, grâce à des substitutions. Par exemple, les pâtes carbonara habituellement servies pouvaient être remplacées par des tortellinis aux 4 fromages, les lasagnes bolognaises par des lasagnes végétariennes, etc., ce qui permettait de rester dans la même gamme de produits. Les données de vente enregistrées quotidiennement et le recueil de 18 342 bulletins de satisfaction ont permis d'estimer l'acceptabilité de ce changement.

Résultat : les étudiants ont augmenté significativement leur choix de plats végétariens avec le doublement de l'offre, en passant de 23 à 45 %. Leur satisfaction pour l'offre proposée n'a pas diminué (de 4,05 à 4,07 sur 5), ni leur appréciation pour le plat qu'ils ont choisi (de 4,09 à 4,13 sur 5). Un questionnaire distribué à la fin de l'intervention a révélé que seulement 6 % des étudiants avaient remarqué la modification de l'offre, qui n'avait pas été communiquée.

L'investigation révèle certaines limites liées à la courte durée de l'intervention et à la mobilisation rapide des cuisiniers. Si l'empreinte carbone des plats choisis a diminué (-21 % en kgCO₂eq), l'effet sur la qualité nutritionnelle et le coût de leur production n'était pas celui espéré, puisque les scientifiques ont observé une légère augmentation (passage du prix de production par repas de 0,95 à 1,02 €). La qualité nutritionnelle des plats est restée en moyenne dans l'intervalle C du Nutri-Score : le score de qualité nutritionnelle (score FSA situé entre -15 et 40) s'est légèrement dégradé de 4,7 à 5. Une phase de planification plus longue des menus pour les cuisiniers, associée à des formations à la cuisine végétale, pourrait optimiser l'évolution de ces indicateurs et améliorer la qualité nutritionnelle tout en réduisant les coûts.

Depuis cette étude, les étudiants du RU Montmuzard du Crous Bourgogne-Franche-Comté sont 30 % à choisir des plats végétariens contre 24 % antérieurement. Poursuivant cette démarche, les chercheurs suivent actuellement une cohorte de 300 étudiants qui doivent photographier durant plusieurs mois le contenu de leur plateau. L'objectif est d'identifier différents profils pour mieux comprendre les motivations individuelles liées au choix du plat végétarien.



CONTACT > lucile.marty@inrae.fr
Référence > doi: 10.1186/s12966-024-01624-4
Partenaires > CSGA • Crous Bourgogne-Franche-Comté



► « Chouette Cantine » : un projet de recherche-action pour une restauration scolaire plus durable

Dans un contexte de recherche de solutions pour diminuer l'impact des systèmes alimentaires sur l'environnement, l'augmentation de la fréquence des menus végétariens (sans viande ni poisson) en restauration scolaire apparaît pertinente.

L'appréciation de ces plats par les enfants est un élément clé pour ne pas se heurter à une hausse du gaspillage ou une moindre couverture des besoins nutritionnels.

Le but de ce projet était, d'une part de comparer l'appréciation des enfants pour les plats végétariens et non-végétariens servis en restauration scolaire au cours d'une année et, d'autre part, de proposer et d'évaluer des programmes d'éducation alimentaire basée sur l'éducation sensorielle pour améliorer l'acceptabilité des plats les moins appréciés.

▲ Les menus végétariens (sans viande ni poisson) servis en restauration scolaire en France sont généralement de bonne qualité nutritionnelle et de plus faible impact sur l'environnement que les menus non-végétariens. Ainsi, l'augmentation de leur fréquence est préconisée pour limiter

l'empreinte environnementale de la restauration scolaire (lois Egalim 2018, Climat et Résilience 2021). Néanmoins, la question de leur moindre appréciation est souvent mise en avant.

Afin de comparer l'appréciation des enfants pour les plats végétariens et non-végétariens servis en restauration scolaire au cours d'une année, des bornes de satisfaction connectées sur lesquelles figurait une échelle d'appréciation avec 5 smileys ont été installées dans les 38 restaurants des écoles primaires de la ville de Dijon. Tous les jours après le déjeuner, entre septembre 2021 et juin 2022, il a été demandé aux enfants d'évaluer leur appréciation pour le plat principal. Les réponses ont été enregistrées pour 125 plats, dont 32 végétariens, avec un total de 208985 votes. Aucune différence d'appréciation n'a été observée en moyenne pour les plats végétariens et non-végétariens. Cependant des différences entre catégories de plats ont été observées : les plats les plus appréciés étaient ceux à base de porc, de volaille, d'œufs ou de fromage, ceux à base de poisson ou de bœuf présentaient une note intermédiaire, ceux à base de légumineuses étaient les moins appréciés.

Deux programmes d'éducation sensorielle ont été co-construits avec les équipes de la restauration scolaire en ciblant des familles d'aliments parmi les moins appréciées des enfants : les choux et les légumineuses. Les programmes ont été déployés dans deux écoles pilotes de Dijon au printemps 2022 et ont impliqué 322 enfants. Ils ont été évalués au moyen de questionnaires avant/après en comparant avec deux écoles contrôles (design quasi-expérimental). Ces programmes ont eu des effets positifs sur les connaissances des enfants pour les deux aliments cibles et leur envie de goûter les aliments présentés uniquement pour les légumineuses.

Les menus végétariens sont dans l'ensemble appréciés par les enfants ce qui constitue un signal encourageant pour les collectivités qui souhaitent augmenter leur fréquence et ainsi diminuer l'impact environnemental des menus servis en restauration scolaire. Néanmoins, certaines familles d'aliments, comme les légumes et les légumineuses, restent faiblement appréciées par les enfants. Il est donc nécessaire de les accompagner pour les familiariser à ces aliments, tout en augmentant leur fréquence dans les menus et ainsi amorcer une transition alimentaire qui rime avec plaisir de manger.



Il est possible d'amorcer une transition vers des menus de moindre impact environnemental en restauration scolaire tout en préservant, voire en renforçant, le plaisir de manger des enfants.



CONTACT > lucile.marty@inrae.fr
Référence > doi: 10.1016/j.appet.2024.107547,
 doi: 10.1016/j.foodqual.2024.105104
Partenaires > CSGA • Association Eveil'O'Gout • Ville de Dijon



► Trajectoires des habitudes alimentaires des adultes français au cours du temps

Alors que les transitions alimentaires vers des régimes plus riches en végétaux et moins riches notamment en viande sont urgentes, peu d'études ont examiné les trajectoires alimentaires récentes, sur la base de données individuelles longitudinales observées. Les chercheurs ont examiné les transitions alimentaires actuelles dans une population d'adultes français sur une période de 8 ans (2014-2022), tout en évaluant la qualité de l'alimentation et le rôle de divers facteurs socio-économiques.

▲ Au sein de la cohorte Nutrinet-Santé, ce travail a été réalisé à partir des données de consommation collectées à l'aide d'un questionnaire de fréquence alimentaire complété au moins deux fois au cours des passations de 2014, 2018 et 2022. Pour les 17 187 participants de la cohorte NutriNet-Santé concernés, les données ont été pondérées par les données de recensement français, afin de mieux représenter la population française. En adoptant une approche spécifique hommes/femmes, les changements de consommation dans 23 groupes d'aliments ont été évalués au fil du temps.

La qualité de l'alimentation a été évaluée à l'aide du score de l'indice de qualité globale de l'alimentation (cDQI), en classant les aliments en deux catégories : « sains » et « malsains ». L'analyse socio-économique a ciblé quatre groupes d'aliments fortement liés au risque de mortalité et reconnus comme des marqueurs significatifs de la transition vers un régime alimentaire durable : viande rouge (y compris le bœuf frais, le porc, les abats et l'agneau), viande transformée (par exemple, saucisses, jambon et bacon), légumineuses et produits à base de céréales complètes.

Les résultats montrent que la consommation de certains aliments nutritionnellement riches et d'origine végétale a augmenté de manière significative au fil du temps (noix +59 %, légumineuses +22 %, produits à base de céréales complètes +7 %), tandis que la consommation de certains aliments défavorables à la santé a diminué (viande rouge -19 %, céréales raffinées -18 %, boissons sucrées -15 %). À l'inverse, une augmentation de la consommation de plats préparés et mixtes (+16 %) et de viande transformée (+35 %) a été observée.

Conformément à l'augmentation de la consommation d'aliments sains, un score cDQI croissant au fil du temps a été observé. Il convient de noter que ces scores étaient plus élevés chez les femmes que chez les hommes. Par ailleurs, les personnes ayant un niveau d'éducation élevé avaient tendance à consommer moins de viande rouge et plus de produits à base de céréales complètes, alors que les personnes ayant le niveau d'éducation le plus bas avaient une consommation plus élevée de viande transformée. La catégorie professionnelle était également associée aux changements longitudinaux de la consommation alimentaire, montrant une augmentation de la consommation d'aliments d'origine végétale chez les étudiants et les catégories socioprofessionnelles supérieures.

La connaissance de ces tendances et l'obtention de données sur les facteurs socio-économiques sont nécessaires pour mettre en œuvre des interventions stratégiques pour une transition alimentaire durable.

« Les facteurs socio-économiques sont des déterminants majeurs des consommations alimentaires mais aussi de leur évolution. »



CONTACT > e.kesse@eren.smbh.univ-paris13.fr
Référence > doi: 10.1017/S0007114524002514
Partenaires > CRESS • PNCA • GAEL • Solagro



► Changer son alimentation : quels sont les choix les plus efficaces ?

Diminuer sa consommation de viande est de plus en plus populaire dans les pays occidentaux, que ce soit pour des questions de santé humaine ou de pression sur l'environnement. Cependant, une telle transition pourrait présenter des risques de déficience en nutriments. Ainsi, il est important de savoir s'il y a un risque nutritionnel à réduire directement la viande rouge dans l'alimentation, et si tel est le cas, quels sont les ajustements alimentaires nécessaires pour permettre une transition sûre, mais aussi efficace, vers des régimes sains comportant peu de viande. A partir d'un modèle basé sur la théorie des graphes, les chercheurs ont identifié les trajectoires sûres permettant cette diminution de la manière la plus efficace pour différents groupes de population consommant initialement plus ou moins de viande.

▲ L'impact de la consommation de viande rouge suscite de plus en plus d'attention en raison notamment de ses effets négatifs sur la santé et l'environnement. De nombreuses études établissent un lien entre une consommation élevée de viande rouge (surtout transformée) et des risques accrus de maladies à long terme. De plus, la viande est l'un des plus grands contributeurs aux émissions de gaz à effet de serre des régimes alimentaires.

Par ailleurs, la montée des préoccupations en matière de bien-être animal incite une partie encore faible mais grandissante de la population à adopter des régimes flexitariens ou végétariens. Cependant, si les régimes à base de végétaux peuvent améliorer la santé, la réduction de la viande, prise isolément, peut aussi entraîner des risques potentiels de déficiences en nutriments indispensables, comme le fer biodisponible et la vitamine B12. Dans ce contexte, il est important de savoir si la réduction de la viande rouge dans l'alimentation des Français expose à un risque nutritionnel, et si tel est le cas, quels sont les ajustements alimentaires nécessaires pour permettre une transition sûre et efficace vers des régimes sains comportant peu de viande.

Les chercheurs ont analysé les trajectoires possibles de transition alimentaire entre les régimes observés des Français (selon la dernière enquête nationale représentative) et des régimes-cibles qui ont un profil santé optimisé et apportent tous les nutriments en quantités adéquates. Avec des méthodes sophistiquées alliant théorie des graphes (branche des mathématiques qui étudie les structures composées de nœuds reliés par des liens afin de modéliser et analyser des relations ou des connexions entre des objets) et optimisation, ils ont identifié les trajectoires optimales entre le régime consommé et le régime optimisé, grâce à la simulation de régimes intermédiaires, et caractérisé les premières étapes de changements de consommation. Les chercheurs ont montré que la viande rouge pouvait être réduite fortement d'emblée, mais les étapes suivantes impliquent une augmentation d'autres groupes alimentaires comme les fruits, les légumes et le poisson gras, avant de pouvoir achever les objectifs de réduction de viande. Ces trajectoires de réarrangement permettent de transiter avec efficacité vers des régimes sains comportant peu de viande. Chez les femmes, les chercheurs ont pu montrer que ces changements préalables sont nécessaires pour assurer des apports suffisants en fer biodisponible pour éviter l'augmentation du risque d'anémie ferriprive.

Au-delà des questions de nutriments, ces trajectoires de changements alimentaires offrent des bénéfices pour la santé à long terme et ils réduisent les émissions de gaz à effet de serre, malgré une hausse de la consommation d'eau. Les travaux révèlent l'importance des premières étapes de réorganisation du régime pour une transition alimentaire sûre et efficace vers un régime alimentaire durable à dominante végétale.



« Réduire sa consommation de viande est possible sans risque nutritionnel, notamment pour les femmes. »



CONTACT > elperraud@inrae.fr
Référence > doi: 10.1016/j.tjn.2024.06.008
Partenaires > PNCA



Développer l'accès et le déploiement des SCIENCES des données

pour mieux prédire et analyser
le rapport bénéfice/risque
d'une alimentation saine & durable

L'interopérabilité des données apparaît comme un verrou majeur pour mener à bien des études intégrées sur le lien entre systèmes alimentaires et l'équilibre bénéfices/risques pour les individus. En effet, les données produites à différents niveaux d'échelles (moléculaire, individu, populations) sont actuellement peu, voire pas compatibles.

Le département vise à implémenter une politique proactive d'ouverture des données à la fois pour valoriser et partager les connaissances, mais également pour intégrer les stratégies de réutilisation des données dans ses recherches.

Le département promeut par ailleurs l'intégration des données complexes pour prédire et analyser le rapport bénéfice/risque d'une alimentation saine et durable.

► L'imagerie par spectrométrie de masse pour mieux comprendre la relation viande rouge et cancer colorectal

Les études épidémiologiques, confortées par celles chez l'animal, montrent que la consommation excessive de viande rouge et de charcuteries est impliquée dans le développement du cancer colorectal. Malgré les messages de prévention, une part importante de la population dépasse les niveaux de consommation recommandés.

Pour pouvoir vraiment être efficace en termes de prévention pour l'ensemble de la population, il est nécessaire de bien comprendre les mécanismes qui lient cette consommation et le développement de ce cancer, précisément au niveau local, dans le côlon. L'imagerie par spectrométrie de masse se révèle être une approche innovante, pertinente et complémentaire à des approches physiopathologiques classiques car elle permet d'étudier des disruptions métaboliques avec une excellente résolution spatiale.

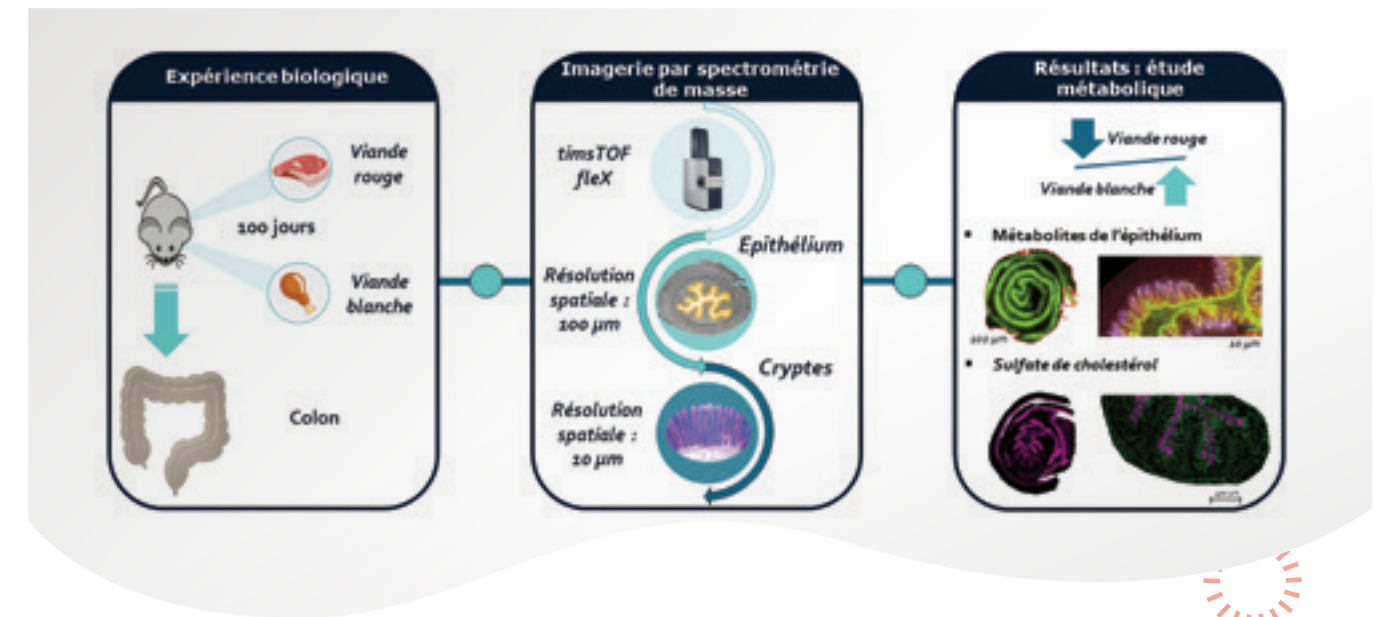
▲ Dans cette étude, il a été possible d'étudier spécifiquement le métabolome de l'épithélium colique, le tissu qui est spécifiquement en contact direct avec les produits de digestion du régime alimentaire.

Des rats ont été nourris pendant 100 jours avec des régimes riches en viande rouge (bœuf) ou en viande blanche (poulet), non promotrice du cancer colorectal. Des coupes de leur côlon ont été analysées par imagerie par spectrométrie de masse.

L'analyse du colon, préparé en swiss-roll, à une résolution spatiale de 100 µm a permis d'étudier spécifiquement le métabolisme de l'épithélium et de mettre en évidence une

dichotomie métabolique entre les deux groupes d'individus. Vingt-deux métabolites ont été trouvés discriminants au sein du tissu épithélial, révélant des perturbations de voies métaboliques telles qu'une augmentation du catabolisme des purines ou une diminution du pool de glutathion chez les rats exposés à la viande rouge, probablement liée à un stress oxydant augmenté. Ce dernier résultat confirme les travaux antérieurs réalisés au laboratoire, montrant l'activation de la glutathion synthase au niveau colique avec un régime à base de viande rouge, en relation avec l'augmentation des défenses antioxydantes. La répartition au sein de la crypte de certains métabolites discriminants a été visualisée à une résolution spatiale de 10 µm. Ainsi, le sulfate de cholestérol, trouvé augmenté dans l'épithélium de rat nourri à base de viande rouge, a été localisé au sommet des cryptes. Ce composé est connu pour réguler l'activité de la matrilysine, une métalloprotéine impliquée dans la dégradation de la matrice extracellulaire, et suspectée de jouer un rôle essentiel dans les mécanismes d'invasion tumorale et de métastase dans le côlon. A notre connaissance, cette étude est le premier travail utilisant l'imagerie par spectrométrie de masse pour évaluer l'influence du régime alimentaire sur le métabolome de l'épithélium du côlon, montrant la dérégulation de certaines voies métaboliques sous l'influence de la consommation de viande rouge et la répartition des métabolites au sein de la crypte épithéliale.

Cette approche sans a priori, et spatialisée grâce à l'imagerie par spectrométrie de masse, permet d'envisager de nouvelles pistes pour l'étude des mécanismes impliqués dans la relation alimentation et cancer colorectal. L'étape suivante sera de comparer le métabolome spatialisé entre le tissu tumoral et le tissu sain, et les modifications induites par un régime alimentaire promoteur du cancer colorectal.



CONTACT > justine.ferey@inrae.fr

francoise.gueraud@inrae.fr

Référence > doi: 10.1016/j.talanta.2024.126230

Partenaires > TOXALIM

➤ Évaluation de l'exposition à un mélange de contaminants chimiques tout au long de la vie

Tout au long de sa vie, l'homme est exposé à un ensemble de contaminants chimiques potentiellement délétères pour sa santé. Les approches d'évaluation du risque historiquement suivies par les agences sanitaires se limitent le plus souvent à une seule substance, une voie d'exposition unique, et une courte durée d'exposition.

Or la survenue d'un effet néfaste peut provenir de l'exposition à un mélange réel de contaminants, variable dans le temps, et issu de plusieurs sources.

Face à ce défi les chercheurs ont développé une approche et des outils permettant d'obtenir une vision dynamique de l'exposition vie entière et non plus statique, en appréciant les conséquences en termes de caractérisation des risques sanitaires.

▲ Les chercheurs ont développé une méthodologie innovante pour évaluer l'exposition humaine à des mélanges de contaminants chimiques tout au long de la vie, en prenant comme exemple les éléments traces métalliques tels que le cadmium, le mercure, l'arsenic inorganique et le plomb, dont le risque ne peut pas être exclu au regard des niveaux d'expositions estimés dans les dernières Etudes de l'Alimentation Totale pour la population infantile et les forts consommateurs de produits de la pêche. Contrairement aux approches classiques qui se focalisent sur une substance et une voie d'exposition spécifiques sur une période limitée, cette étude intègre la diversité des sources, des voies d'exposition et des effets cumulatifs des mélanges, offrant ainsi une vision réaliste des expositions humaines dans le temps.

L'application des trajectoires de vie a permis d'estimer les expositions alimentaires et environnementales journalières au mélange

d'éléments traces métalliques en fonction de déterminants socio-économiques et socio-démographiques. Ces trajectoires d'exposition au mélange ont ensuite été transformées en niveaux d'imprégnation via des modèles cinétiques basés sur la physiologie vie-entière, simulant une croissance physiologique réaliste d'un individu de la naissance à 80 ans. Par ailleurs, l'approche a permis de quantifier les niveaux d'imprégnation pour chaque substance dans les organes-cibles et en particulier les reins. Enfin, le risque lié à l'exposition vie-entière au mélange d'éléments traces métalliques a pu être estimé sur la base des biomarqueurs d'exposition estimés et un effet néfaste commun, notamment la toxicité rénale. Une approche d'additivité des quotients de danger a pu être appliquée.

Les chercheurs ont ainsi identifié les principaux contributeurs de l'exposition : l'alimentation a été identifiée comme la principale source d'exposition aux éléments traces métalliques. Les sources telles que le sol et les poussières jouent un rôle mineur mais restent non négligeables. Les chercheurs ont également mis en évidence des variations liées aux évolutions des contaminations environnementales. Les générations exposées à des niveaux environnementaux plus élevés au XX^e siècle présentent une imprégnation corporelle accrue, notamment pour les contaminants bioaccumulables comme le cadmium et le plomb. Un indice socio-économique a été développé pour intégrer les paramètres socio-économiques et socio-démographiques en une seule mesure, facilitant ainsi l'analyse des variations du niveau socio-économiques au sein des populations. Enfin, les chercheurs ont pu caractériser le risque sanitaire lié au mélange. L'arsenic inorganique s'est révélé être le principal contributeur au risque tout au long de la vie, tandis que le cadmium et le plomb, en raison de leur bioaccumulation, ont une contribution au risque croissante avec l'âge.

Ces travaux ouvrent la voie à des évaluations de l'exposition plus robustes en intégrant notamment la période prénatale et l'exposition via le lait maternel, essentielles pour évaluer les risques chez le fœtus et le nourrisson, ainsi que des études toxicologiques *in vitro* sur les organes-cibles pour affiner les valeurs sanitaires et un nombre plus large de substances dans les mélanges pour une meilleure caractérisation des interactions cinétiques et toxiques potentielles. Enfin, le modèle cinétique développé pourrait servir de base pour des travaux futurs sur l'estimation des concentrations dans divers organes et l'identification de biomarqueurs d'exposition à l'échelle cellulaire.

Cette approche novatrice apporte des outils essentiels pour mieux évaluer les risques liés à l'exposition aux mélanges de contaminants tout au long de la vie et ainsi apporter de nouveaux éléments aux gestionnaires du risque pour leurs actions de prévention face à ces risques sanitaires.

« Ce projet autour des trajectoires d'exposition représente un pas significatif en rupture avec le développement de nouvelles approches d'évaluation des expositions chimiques et de la caractérisation de leur impact sur la santé, au service d'une nouvelle génération d'évaluation du risque. »



CONTACT > bruno.lebizec@oniris-nantes.fr
Référence > doi: 10.1080/19440049.2023.223108,
doi: 10.1016/j.fct.2024.114598, doi: 10.1016/j.fct.2024.115111,
doi: 10.1016/j.envres.2024.120393
Partenaires > LABERCA • ANSES • INERIS • Wageningen University •
SLU • AUTH • RIVM



FOCUS innovations

Le département encourage et accompagne les chercheurs dans leur parcours de la recherche vers l'innovation. Ceci se traduit notamment par une belle performance dans la création d'entreprises issues des recherches du département puisque huit start-up et une association ont été créées entre 2017 et 2024.

Près de 150 contrats de recherche avec des acteurs socio-économiques ont été conclus sur la période 2020-2024 dont 50% avec des entreprises et 50% avec des fondations et des sociétés savantes.

Depuis 2020, 69 déclarations d'inventions et résultats valorisables ont été soumises.

Enfin, quarante demandes de brevets ont été déposées par des chercheurs du département au cours de la période 2020-2024.

Cette année, nous vous proposons de découvrir une start-up et un laboratoire commun.



Nodia Metabolics : agir sur le prédiabète

La start-up deeptech NODIA Metabolics, créée en janvier 2024, développe un principe actif sous forme de complément alimentaire réduisant l'hyperglycémie post-prandiale et ainsi, le risque de développer un diabète de type 2 chez les prédiabétiques.

▲ Le diabète de type 2 est une maladie métabolique chronique qui figure parmi les 10 principales causes de mortalité mondiale, avec une augmentation de 70 % depuis 2000 en raison de son lien avec l'obésité. Il est essentiel de prévenir la progression des facteurs de risque avant l'installation de la maladie. Le prédiabète, une étape précoce du diabète de type 2, est une phase clé à cibler car elle est réversible. Dans ce contexte, NODIA Metabolics développe un complément alimentaire visant à agir sur le prédiabète. Ce produit repose sur les travaux collaboratifs de chercheurs de l'UMR Micalis (Microbiologie des aliments au service de la santé, INRAE Jouy-en-Josas). Ils ont étudié l'O-acétyl-sérine, un dérivé d'acide aminé issu du métabolisme de bactéries commensales humaines de l'espèce *Streptococcus salivarius* et ont montré que ce composé restaure la tolérance au glucose chez des rats et souris en surpoids et prédiabétiques, tant dans un contexte curatif que préventif. Le mécanisme d'action de l'O-acétyl-sérine a été élucidé par les chercheurs à travers des études *in vivo* et *in vitro* : ce composé améliore la glycémie postprandiale d'une part en stimulant directement la sécrétion d'insuline de manière glucose-dépendante au niveau pancréatique, et d'autre part en activant au niveau intestinal la sécrétion de l'hormone peptidique GLP-1, hormone qui stimule elle-même la sécrétion d'insuline. L'O-acétyl-sérine apparaît donc comme un métabolite ayant des effets anti-hyperglycémiants qui pourraient permettre de réduire l'intolérance au glucose chez les prédiabétiques et par conséquent le risque de développer par la suite un diabète de type 2.

Ce projet de recherche INRAE, initié en 2011, s'appuie sur une famille de brevets sous contrat de licence et a par ailleurs reçu le soutien de l'Idex Paris Saclay pour une étape de prématuration, de la SATT Paris Saclay pour une phase de maturation et d'une bourse French Tech Emergence. La commercialisation du complément alimentaire développé par NODIA Metabolics est prévue en 2028, après une série d'essais cliniques et la montée en échelle des capacités de production.



CONTACT > veronique.douard@inrae.fr
christine.delorme@inrae.fr



SeaMind : préserver la santé cognitive par la nutrition

Le projet de LabCom SeaMind entre le laboratoire NutriNeuro (UMR INRAE, Université de Bordeaux, Bordeaux INP) et la société Abyss Ingredients a été sélectionné par l'ANR au terme de la deuxième vague de l'appel 2024. Il vise à prévenir et corriger les troubles cognitifs tout au long de la vie à travers des solutions alimentaires innovantes et bio-sourcées.

▲ Les troubles cognitifs se manifestent souvent par des altérations de la mémoire et de l'humeur qui, même lorsqu'ils sont légers, impactent significativement la qualité de vie et conditionnent le vieillissement cognitif en modulant les réserves cognitives. Ils représentent un coût important pour la société et constituent désormais une préoccupation de santé publique majeure. C'est pourquoi il faut intervenir plus précocement en amont du vieillissement en ciblant différentes populations à risque, à des périodes critiques de vie.

Le projet SeaMind s'inscrit dans une démarche proactive et innovante en combinant l'expertise reconnue de l'équipe NutriMind du laboratoire NutriNeuro en santé cognitive et celle d'Abyss Ingredients dans l'extraction de composés bioactifs marins. Ensemble, ils ambitionnent de développer de nouveaux actifs innovants marins scientifiquement validés par des études pré-cliniques puis cliniques afin de préserver la santé cognitive tout au long de la vie. Leur objectif est de proposer une offre différenciante et efficace sur le marché des compléments alimentaires et qui réponde aux besoins de naturalité des consommateurs.

En améliorant les connaissances scientifiques sur la prévention des troubles de la mémoire et de l'humeur à différentes périodes critiques de vie et en développant des solutions alimentaires innovantes, le LabCom SeaMind offre une opportunité précieuse de transformer les stratégies et modalités de prévention et/ou du traitement des troubles cognitifs.



CONTACT > corinne.joffre@inrae.fr

Distinctions



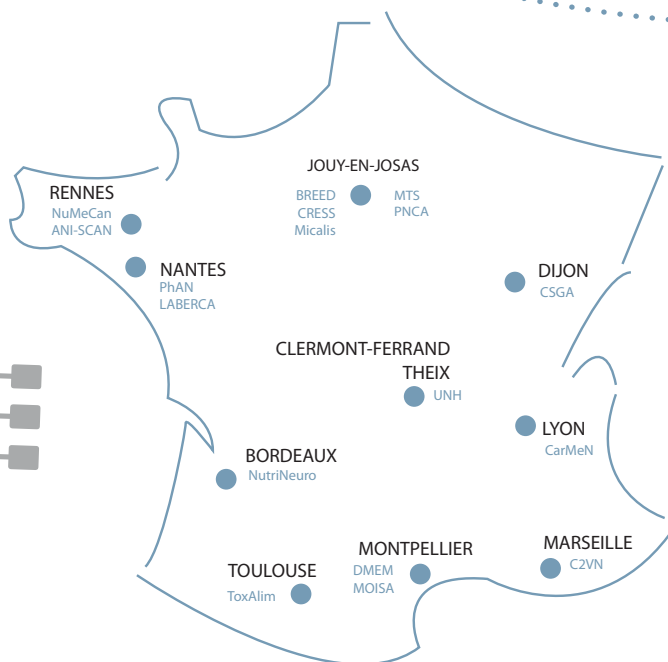
Marie-Caroline Michalski, lauréate 2024 du prix Ralph Holman Lifetime Achievement Award

Marie-Caroline Michalski est lauréate cette année du Ralph Holman Lifetime Achievement Award de l'American Oil Chemists' Society (AOCS), société savante internationale vouée à faire progresser la science et la technologie des huiles et des matières grasses pour des applications concrètes pour le grand public.

Ce prix, décerné le 29 avril 2024 à Montréal, récompense une personnalité scientifique dont les travaux ont permis des avancées majeures en matière de santé et de nutrition.

Marie-Caroline Michalski, première non américaine et non anglophone à recevoir cette distinction, est ainsi récompensée pour sa contribution déterminante à de nouveaux concepts dans la prévention et la gestion nutritionnelle de l'obésité, tels que l'effet matrice alimentaire, les lipides rapides vs lents et les bénéfices des lipides polaires laitiers sur la réduction de facteurs de risque cardiometabolique. Ses travaux ont conduit à plusieurs développements de recherche scientifique et à des applications industrielles au niveau international, notamment dans le domaine de la nutrition infantile.

Marie-Caroline Michalski est directrice de recherche au sein de l'unité CarMeN, laboratoire biomédical de recherche dans le domaine des maladies cardiovasculaires, du métabolisme, de la diabétologie et de la nutrition, basé à Lyon.



CARTE DES UNITÉS

du département AlimH

ANI-SCAN	Unité de service scanographie
BREED	Biologie de la reproduction, environnement, épigénétique et développement
C2VN	Centre Cardiovasculaire et Nutrition
CarMeN	Cardiovasculaire Métabolisme Diabétologie et Nutrition
CRESS	Centre de recherche en épidémiologie et statistiques
CSGA	Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation
DMEM	Dynamique Musculaire et Métabolisme
LABERCA	Laboratoire d'Etudes des Résidus et Contaminants dans les Aliments
Micalis	Microbiologie de l'Alimentation au service de la Santé humaine
MOISA	Montpellier Interdisciplinary Center on Sustainable Agri-food Systems
MTS	Médicaments et technologies pour la santé
NuMeCan	Nutrition, Métabolismes et Cancer
NutriNeuro	Nutrition et Neurobiologie intégrée
PhAN	Physiopathologie des Adaptations Nutritionnelles
PNCA	Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire
ToxAlim	Toxicologie Alimentaire
UNH	Nutrition Humaine



INRAE • Département AlimH
Site de Theix
63122 Saint Genès Champanelle

Directeur de la publication :
Lionel Bretillon

Coordinatrice de l'édition :
Claire Gaudout

Comité de rédaction :
Sylvie Bardon, Véronique Coxam,
Emmanuelle Kesse-Guyot,
Fabrice Pierre, David Val-Laillet

Graphisme :
Studio Bird Idea® - www.birdidea.fr

Photos :
Adobe Stock - Shutterstock - IStock - INRAE

Rejoignez-nous sur :



www.inrae.fr/departements/alimh

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE