

LES MATRICES ALIMENTAIRES : INTERACTIONS COMPLEXES & ENJEUX D'INNOVATION



P2 ➤ Qu'est-ce que l'effet matrice ?

- Biodisponibilité
- Facteurs antinutritionnels (FAN)
- Synergie entre nutriments & ingrédients

P4 ➤ Quelles pistes d'innovation pour optimiser l'effet matrice ?

- Génétique
- Formulation
- Procédés

P6 ➤ Entretien avec l'entreprise CELABOR



Introduction

Introduit par l'étude du Dr Gregory B. Haber *et al.* en 1977¹, l'effet matrice repose sur le fait que les effets nutritionnels et fonctionnels d'un aliment ne se limitent pas à la somme stricte de ses constituants mais résultent d'interactions complexes entre les ingrédients et les procédés de transformation de l'aliment.

Cette étude a commencé par mettre en évidence l'effet de la matrice alimentaire sur le métabolisme glucidique en montrant qu'une pomme entière, une compote de pomme et un jus de pomme n'entraînaient pas la même réponse insulinémique chez des sujets sains.

La déstructuration de la pomme augmente son index glycémique. La maturité de l'aliment, son degré de process, sa teneur en protéines et en fibres, sa densité sont autant d'autres facteurs qui peuvent influencer l'index glycémique.

Il est donc très difficile de prédire les teneurs en nutriments et ingrédients actifs qui arriveront réellement dans l'organisme puisque les caractéristiques intrinsèques (comme la variété d'un fruit ou légume), la formulation mais aussi les procédés appliqués influent sur la matrice alimentaire et donc sur la biodisponibilité de l'aliment. De plus, un même aliment ou complément alimentaire n'aura pas les mêmes effets nutritionnels et fonctionnels s'il est ingéré seul ou avec d'autres aliments. C'est pourquoi les études de digestibilité et de biodisponibilité sont indispensables lors de nouvelles formulations.

Ces interactions complexes sont porteuses de grands enjeux d'innovation pour les industriels producteurs d'aliments finis et pour ceux qui formulent leurs propres matrices : des compléments alimentaires ou des aliments & boissons fonctionnels.

I. Qu'est-ce que l'effet matrice ?

Biodisponibilité

La matrice alimentaire impacte la biodisponibilité d'un aliment. Le fer héminique d'origine animale par exemple a une meilleure biodisponibilité que le fer non héminique d'origine principalement végétale. Seul 25% du fer héminique est absorbé pour être utilisé par l'organisme et son absorption intestinale est peu influencée par les autres aliments ingérés.

Pour le fer non héminique, seulement 1 à 10% sera absorbé après ingestion. Son absorption intestinale étant très influencée par d'autres aliments comme le thé qui contient des facteurs antinutritionnels réduisant l'absorption du fer non héminique. La vitamine C et le fer héminique favorisent quant à eux l'absorption du fer non héminique.

De manière générale, la biodisponibilité des phytomicronutriments (caroténoïdes, phytostérols, polyphénols...) représente un enjeu important. Elle est souvent très faible et très variable, impactée par de nombreux facteurs notamment en lien avec la matrice comme la présence de facteurs antinutritionnels (les lipides augmentent la biodisponibilité mais les fibres la diminuent) ou encore l'entrée en compétition des

phytomicronutriments. L'espèce et la modification chimique ainsi que la dose ingérée peuvent également jouer.

De plus, il existe une variabilité interindividuelle de la biodisponibilité des phytomicronutriments qui pourrait être optimisée par une approche de nutrition personnalisée pour améliorer l'absorption chez les sujets « mauvais absorbeurs ». Cette variabilité pourrait s'expliquer par l'implication de protéines dans l'absorption des phytomicronutriments puisqu'il existerait un polymorphisme génétique au sein de la population ainsi que des différences liées aux caractéristiques physiologiques de l'individu.



¹ Haber GB, Heaton KW, Murphy D *et al.* Depletion and disruption of dietary fibre. Effects on satiety, plasma- glucose, and serum-insulin. *Lancet.* 1977;2(8040):679-82.

• Biodisponibilité des phytomicronutriments : Mécanismes impliqués et stratégies d'amélioration - INRA [🔗](#)

Facteurs antinutritionnels (FAN)

Les facteurs antinutritionnels sont des substances qui interfèrent avec l'absorption des nutriments chez l'homme mais aussi chez les animaux.

Ils peuvent être d'origine alimentaire comme certains additifs, les composés néoformés, les pesticides, l'alcool, le café et le thé consommés au moment des repas ou non alimentaire comme certains médicaments, le tabac, les émanations de gaz carbonique...

On en retrouve dans les céréales, légumineuses, tubercules et oléagineux (notamment l'acide phytique qui diminue l'absorption des minéraux comme le fer, zinc, magnésium et calcium, les oxalates, les

lectines et les tanins toxiques à forte dose précipitant les protéines).

Ce sont des antiminéraux, des antivitamines, des antienzymes (comme des inhibiteurs de la protéase ou de l'amylase), des tanins, des saponines, des acides aminés toxiques, certains allergènes alimentaires...

Certains nouveaux aliments comme les insectes ou les algues en contiennent également (entre autres : l'acide cyanhydrique, la thiaminase, la chitine pour les insectes et des composés de nature polysaccharidique ou phénolique pour les algues).

Si les FAN n'ont pas d'impact majeur sur la santé de la population générale, leur

concentration dans les aliments doit être surveillée chez les personnes carencées ou suivant un régime alimentaire exclusivement à base de céréales et légumineuses.

Plusieurs solutions techniques (surtout lorsqu'elles sont combinées) permettent de dégrader les FAN presque en totalité. **cf. partie II**

Pour autant, tous ces composés ne doivent pas forcément être exclus de notre alimentation puisque dans certaines conditions et sous certaines concentrations, ils peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé. C'est le cas par exemple des phytates et tanins (des polyphénols) qui peuvent être de puissants antioxydants.

Synergie entre nutriments & ingrédients

Les interactions entre nutriments peuvent être positives (vitamines & minéraux, antioxydants & oméga 3 et 6, prébiotiques & probiotiques formant des symbiotiques, lipides alimentaires & vitamines A, D, E, K...) ou négatives (vitamines & minéraux, fibres alimentaires & minéraux, tanins & fer...).

Les symbiotiques sont un bon exemple d'innovation s'appuyant sur l'effet synergique de plusieurs ingrédients. Associés au sein d'un même produit, les probiotiques et prébiotiques créent une synergie. Les symbiotiques peuvent être formulés de manière à encapsuler les probiotiques (par microencapsulation ou par nanoencapsulation) avec des matrices à base de prébiotiques (comme l'inuline). Ces formulations permettent

d'augmenter la viabilité des bactéries (avant commercialisation et une fois ingérées, au sein de l'organisme en protégeant les bactéries contre les sels biliaires et l'acidité) tout en optimisant les effets.

Il a été démontré que les effets des probiotiques dépendent non seulement des souches utilisées mais aussi de la pathologie ciblée, c'est pourquoi les produits doivent être formulés de manière spécifique et associer des souches aux effets complémentaires (impact sur le microbiote, perméabilité intestinale, inflammation, stress oxydatif...).

L'association de plusieurs souches peut provoquer un effet cocktail synergique ou inhibiteur et doit donc être testée.

En dehors des symbiotiques, les effets cocktail de plusieurs ingrédients actifs formulés dans une même matrice sont insuffisamment étudiés mais devraient faire l'objet de futurs programmes de recherche pour permettre aux producteurs d'aliments fonctionnels et de compléments alimentaires de prédire ces effets.

Certains ingrédients peuvent voir leurs effets inhibés et ne plus apporter de valeur ajoutée au produit final. Au contraire, d'autres ingrédients peuvent voir leurs effets optimisés, ce qui peut différencier une formulation d'une autre.

• [AVIS de l'ANSES relatif à « la valorisation des insectes dans l'alimentation et l'état des lieux des connaissances scientifiques sur les risques sanitaires en lien avec la consommation des insectes »](#) 

• [Facteurs antinutritionnels endogènes présents dans les aliments d'origine végétale - FAO](#) 

• [Strain-Specificity and Disease-Specificity of Probiotic Efficacy: A Systematic Review and Meta-Analysis - Lynne V. McFarland,1,* Charlesnika T. Evans,2,3 and Ellie J. C. Goldstein, 2018](#) 

II. Quelles pistes d'innovation pour optimiser l'effet matrice ?

Génétique

Des solutions génétiques permettent de créer des variétés dont la teneur en FAN est très faible voire nulle (ex : gènes zéro-alcaloïdes, zéro-tanins du pois...) posant tout de même une limite puisque les FAN sont naturellement présents afin d'assurer un rôle de protection de la plante vis-à-vis des pathogènes. La sélection génétique doit donc intégrer cet aspect phytosanitaire (en stimulant par exemple d'autres mécanismes de défense de la plante).

La réduction de la formation de composés néoformés ou encore l'optimisation des caractéristiques organoleptiques (comme la suppression de l'amertume) peuvent également faire l'objet de développement en sélection génétique et création variétale. C'est le cas de plusieurs projets collaboratifs soutenus par le pôle NSL (comme **CHIC41H** qui démarrera cette année et dont l'objectif est d'améliorer les qualités nutritionnelles, organoleptiques et physiologiques de la chicorée).



CHIC41H

Projet porté par la société Florimond Desprez et l'Institut Charles Viollette



D'une durée de 36 mois (démarrage en 2019), le projet CHIC41H labellisé par le Pôle NSL s'intéresse à la création variétale et à la valorisation des produits dérivés de la chicorée. L'objectif sera d'améliorer les qualités nutritionnelles, organoleptiques et physiologiques de la chicorée, tout en préservant la santé humaine, animale, mais aussi, celle des plantes et de l'environnement. Elle s'intègre parfaitement dans le mouvement « One Health ».

Formulation

Certains compléments alimentaires ou aliments fonctionnels contiennent des nanoformulations utilisées pour améliorer la biodisponibilité des ingrédients actifs, les protéger contre la dégradation, améliorer la stabilité au stockage et assurer une libération prolongée. La biodisponibilité se trouve améliorée puisque les nanoparticules peuvent grâce à leur taille (< 100nm) passer par les pores de la muqueuse intestinale. Cette optimisation permet de réduire la quantité d'ingrédients ou nutriments à incorporer et donc de diminuer les coûts pour les industries agroalimentaires.

Les nanoliposomes, micelles, nanoémulsions, nanocapsules, nanogels sont des exemples de formulations innovantes à haute disponibilité, produites à base de lipides (triglycérides, phospholipides), de polysaccharides, de protéines ou de matrices

inorganiques (silice, carbonate de calcium, phosphate de calcium...).

Les nanophytosomes sont issus d'une technologie plus récente qui permet de protéger un extrait de plante ou phytoconstituants hydrosolubles en produisant des complexes moléculaires sous forme de petites cellules, avec une couche externe lipophile. La meilleure stabilité des nanophytosomes est due à la formation de liens chimiques entre les molécules phospholipidiques et les agents phytoactifs.

Des précautions devraient cependant être appliquées concernant l'utilisation de ces nanomatériaux dans l'industrie alimentaire. La cytotoxicité de ces matériaux doit être écartée et leur utilisation faite à bon escient.

• Valeur alimentaire et usages des graines de légumineuses - INRA [↗](#)

• Potential of Nanomaterial Applications in Dietary Supplements and Foods for Special Medical Purposes - Josef Jampilek, Jiri Kos and Katarina Kralova, 2019 [↗](#)

• Phytosomes: The Novel Drug Delivery System for Phytomedicine - Jubilee Purkayastha and Jayita Ghosh, 2018 [↗](#)

Procédés

L'utilisation de procédés innovants peut être perçue négativement par le grand public, soutenant l'image d'aliments ultra-transformés (AUT) et de produits non naturels.

A ce jour, il n'existe pas de preuves des effets délétères de la consommation d'AUT sur la santé mais des études ont montré que les grands consommateurs d'AUT ont en général une alimentation de moins bonne qualité nutritionnelle : moins de fruits et légumes, de fibres, de vitamines et minéraux, plus de sucres, de graisses, d'acides gras saturés et une densité énergétique plus élevée.

Ainsi, les scientifiques s'accordent pour dire que l'effet matrice doit être intégré dans la lutte contre le développement croissant des pathologies chroniques.

Plusieurs classifications grand public ont vu le jour ces dix dernières années, se basant sur le degré de transformation des aliments (et non plus sur leur profil nutritionnel comme le fait le Nutri-Score) comme la classification NOVA.

Pourtant les procédés permettent de garantir la sécurité sanitaire des produits alimentaires et peuvent agir positivement sur l'effet matrice par la préservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques et/ou l'amélioration de la biodisponibilité.

Plusieurs procédés (surtout lorsqu'ils sont combinés) permettent de dégrader les FAN presque en totalité et ainsi d'améliorer la biodisponibilité. C'est le cas du trempage, décorticage, fermentation, germination, cuisson, extrusion ou encore de l'utilisation d'enzymes spécifiques.

De nouvelles technologies « minimal food processing » ont émergé ces dernières années : la microfiltration, le chauffage ohmique, les ultrasons, les hautes pressions ou pascalisation, les champs magnétiques pulsés, la lumière pulsée, les microondes ou la zéodratation. Ces nouveaux procédés alimentaires de substitution sont plus respectueux de l'intégrité des matrices alimentaires car ils traitent les produits d'une manière plus douce et optimisée ce qui permet de préserver les propriétés nutritionnelles et organoleptiques. Ils garantissent aussi la sécurité sanitaire des aliments. Plus largement, le « minimal food processing » consiste à produire des aliments plus simples en réduisant entre autres le nombre d'étapes de transformation et le nombre d'ingrédients. Ces méthodes sont peu utilisées par les industriels car certains verrous réglementaires, économiques et industriels doivent toujours être débloqués.

Focus sur la classification NOVA

Mise au point par des brésiliens en 2009, elle classe en 4 catégories les aliments selon « l'ampleur, la nature et l'objectif de transformation qu'ils ont subis » et l'ajout d'ingrédients et d'additifs :



1. Aliments bruts, non ou peu transformés : fruits et légumes, viandes et volailles, œufs, lait, yaourts, farine, thé, café...

2. Ingrédients culinaires transformés & huiles, sucre, sel, amidon

3. Aliments transformés : conserves, fromages, pains, frites...

4. Produits alimentaires et boissons ultra-transformés : formulations industrielles contenant au moins 5 ingrédients et utilisant des technologies comme la cuisson extrusion, haute température, ajout de micro-nutriments...

Le Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé (FFAS) a soumis en décembre 2018 ses réflexions sur la classification NOVA. Plusieurs limites ont été évoquées notamment :

- L'arbitrage du choix du nombre d'ingrédients distinguant les groupes (5 ou plus) non fondé sur les effets négatifs éventuels sur la santé ;
- L'exclusion totale de la composition nutritionnelle (l'un des marqueurs les mieux documentés, base des recommandations de santé publique) ;
- Le regroupement au sein de la classe des ultra-transformés, de produits industriels très différents (plats préparés, biscuits...) dans leur composition nutritionnelle, mode de transformation, nombre d'additifs, fréquence de consommation, taille de portions...

III. Entretien avec l'entreprise CELABOR



CELABOR est un laboratoire et centre de recherche privé situé dans la région wallonne de Belgique, membre du pôle NSL. S'appuyant sur une équipe pluridisciplinaire d'une cinquantaine de personnes, CELABOR assure un support scientifique et technique dans les secteurs industriels de l'agro-alimentaire, de l'emballage, de l'environnement et du textile.

• Est-ce que l'effet matrice est un enjeu fort pour les industriels avec lesquels vous travaillez ?

Effectivement nos clients sont de plus en plus conscients de l'effet matrice dans différentes circonstances. Ils découvrent qu'il s'agit d'un facteur dont il faut tenir compte pour les méthodes analytiques de contrôle de qualité. De même, ils sont confrontés à cet effet lorsqu'ils souhaitent développer un nouveau produit avec une qualité nutritionnelle différenciée.

• Est-ce que Celabor est impliqué dans des projets de recherche et/ou projets collaboratifs en lien avec les effets de la matrice alimentaire ?

Celabor participe à de nombreux projets de recherche pour la valorisation de coproduits ([Interreg NWE Agriwastevalue](#) et [H2020 Prolific](#)) et le développement de nouvelles filières ([Wallep : gamme de produits à base d'épeautre wallon](#)) impliquant l'effet matrice. Ces programmes élaborent de nouvelles stratégies pour optimiser cet aspect et de cette manière, proposer des produits innovants pour l'alimentation humaine.

• Quelles sont selon vous les pistes d'innovation technologique (process, formulation, ...) pour optimiser l'effet matrice ?

Actuellement, les nouvelles pistes que nous explorons sont l'utilisation de champs électriques pulsés (PEF) et [la technologie hautes pressions](#) (HPP). Ces procédés permettent une meilleure biodisponibilité et préservation de nutriments dans certains aliments. Celabor dispose d'équipements nécessaires pour la

réalisation de tests en conditions pilotes et industrielles pour le procédé hautes pressions. Les résultats sont prometteurs par rapport à d'autres approches plus classiques.

La technologie des HPP est applicable de préférence aux produits humides (boissons, plats préparés, charcuteries,...), elle ne fonctionne pas sur des produits secs du type poudres. Pour les champs électriques pulsés il faut que le produit soit pompable.

AGRIWASTEVALUE



L'objectif de ce projet Interreg North-West Europe, dont Eurasanté est partenaire, est de développer une économie circulaire ainsi qu'une nouvelle chaîne de valeur autour de nouveaux produits biosourcés, issus des coproduits agricoles (résidus), sur la zone de l'Europe du Nord-Ouest. Les secteurs des aliments fonctionnels, de la cosmétique, de la chimie, de l'énergie et de l'agriculture sont particulièrement visés.

Caroline LONDON
Department Manager
Food Technologies - Nutrition

Dr. Gina VILLAMONTE
Project Leader
Food Technologies - Nutrition

Sébastien Cajot
Department Manager
Food Technologies - Extraction

Le Pôle NSL,
partenaire de vos
innovations

L'équipe du Pôle NSL est à votre écoute
pour vous aider dans le montage de vos projets !



Marine MORFAUX
Chargée d'affaires Santé Nutrition
mmorfaux@pole-nsl.org
03 28 55 50 14