



**HAL**  
open science

# Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes

Luc Saulnier, Valerie Micard

## ► To cite this version:

Luc Saulnier, Valerie Micard. Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes. *Innovations Agronomiques*, 2012, 19, pp.63-74. 10.17180/97wf-4d43 . hal-01267826

**HAL Id: hal-01267826**

**<https://hal.science/hal-01267826v1>**

Submitted on 29 May 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Impact de la structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles et l'acceptabilité du pain et des pâtes

Saulnier L.<sup>1</sup>, Micard V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UR 1268 Biopolymères, Interactions, Assemblages, INRA, F-44316 Nantes, France

<sup>2</sup> UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes, INRA- Supagro- CIRAD- Université Montpellier II, F-34060 Montpellier, France

Correspondance : Luc.Saulnier@nantes.inra.fr

### Résumé

L'impact des différentes échelles de structure de l'aliment sur les propriétés nutritionnelles du pain et des pâtes alimentaires est abordé à travers les résultats obtenus dans différents projets associant l'INRA et des partenaires de la filière céréalière. L'importance des procédés sur la structuration de l'aliment et de l'incorporation de fibres alimentaires est également illustrée dans cet exposé. La modification de la structure des aliments céréaliers peut conduire à une amélioration de leur profil nutritionnel, mais se traduit également par un changement de leurs caractéristiques organoleptiques. L'effet de ces modifications sur l'acceptabilité des produits par les consommateurs est présenté dans le cas du pain.

**Mots clés :** index glycémique, fibres alimentaires, profil sensoriel, attente hédonique

### **Abstract:** Impact of food structure on nutritional properties and acceptability of bread and pastas

The impact of the various scales of structure of the food on the nutritional properties of bread and pastas is approached through the results obtained in projects associating INRA and partners of the cereal sector. The importance of the processes on food structure and the incorporation of dietary fibres is also illustrated in this presentation. The modification of cereal food structure can lead to an improvement of their nutritional profile, but also change their organoleptic characteristics. The effect of these modifications on the acceptability of products by the consumers is presented in the case of bread.

**Keywords:** Glycemic index, dietary fibres, sensory profile, hedonic expectation

### Introduction

Les produits céréaliers sont caractérisés par leur richesse en amidon et en fibres alimentaires et leur consommation répond aux recommandations nutritionnelles nationales et internationales qui encouragent l'augmentation de la part des glucides complexes dans le régime alimentaire.

L'ingestion d'aliments amylicés provoque une élévation de la glycémie dont l'intensité et la durée varient en fonction de paramètres liés à la fois à l'aliment et à l'état physiologique des individus. Le concept d'Index Glycémique (IG) a été introduit pour rendre compte des différences de cinétique d'apparition du glucose dans l'organisme. On classe ainsi les aliments en plusieurs catégories selon la valeur d'IG obtenue, IG élevé (IG>70) ou IG faible (IG<55) et la consommation d'aliment à faible IG serait bénéfique pour la santé (Foster-Powell et al., 2002). Les valeurs d'IG sont en moyenne de 75 pour le pain blanc et de 49 pour les spaghettis, mais ces valeurs moyennes varient fortement : de 40 à 89 pour le pain et de 27 à 78 pour les pâtes alimentaires (Atkinson et al., 2008). La digestibilité de l'amidon des produits céréaliers est conditionnée par la structure de l'amidon lui-même et notamment par son

degré de gélatinisation (déstructuration du granule par gonflement se produisant au cours de la cuisson de l'aliment). L'IG peut également dépendre de l'état de structuration ou d'organisation des différents composants de l'aliment (hors amidon) et de la structure de l'aliment lui-même.

Les produits céréaliers sont également une source de fibres alimentaires. De nombreuses études épidémiologiques montrent l'association entre la réduction du risque de développer certaines pathologies liées à l'alimentation (maladies cardiovasculaires, diabète, obésité...) et la consommation de produits céréaliers riches en fibres (sons) (Brownlee, 2011). L'introduction de fibres dans le pain ou les pâtes modifie la structure de ces aliments ce qui se répercute sur la digestibilité de l'amidon et sur la perception organoleptique des produits. De plus, la structure moléculaire des fibres détermine leur dégradation par la microflore colique et en conséquence une partie de leurs effets nutritionnels.

Dans cet exposé, après un rappel sur l'Index Glycémique et la pertinence de son utilisation nous illustrerons l'importance des procédés sur la structuration de l'aliment et l'impact des différentes échelles de structure sur les propriétés nutritionnelles avec quelques exemples sur le pain, les pâtes et les fibres alimentaires. Nous aborderons également, l'impact de l'amélioration nutritionnelle des produits céréaliers sur leur acceptabilité par les consommateurs à travers l'exemple du pain. Les exemples choisis sont issus de différents projets associant l'INRA et des partenaires de la filière céréalière, sur le pain (projet PRA 2005-2008 : AQUANUP), les pâtes alimentaires (projet ANR 2006-2009: PASTALEG) et les fibres alimentaires (projet ANR 2010-2013 : WHEAFI) ; ils ne reflètent pas l'ensemble des solutions proposées pour améliorer les propriétés nutritionnelles de produits céréaliers.

### Index Glycémique, Charge Glycémique et amidons résistants

La détermination de l'IG consiste à comparer la réponse glycémique à l'ingestion d'un aliment à celle d'une référence (classiquement du glucose) dans des proportions telles qu'ils apportent tout deux 50 g de glucides disponibles (Figure 1). Cette mesure nécessite la réalisation de prélèvements sanguins réguliers pendant 2 à 3 heures sur un minimum de 10 sujets (Brouns et al., 2005). La notion complémentaire de charge glycémique (CG) a été définie comme le produit de l'IG par la quantité en g de glucides digestibles dans la quantité d'aliment consommé, divisé par 100. La CG fournit des informations supplémentaires en relation avec la taille des portions et permet donc d'inclure à la fois les notions de qualité et de quantité de glucides et permet ainsi de distinguer différents régimes alimentaires riches en glucides digestibles.

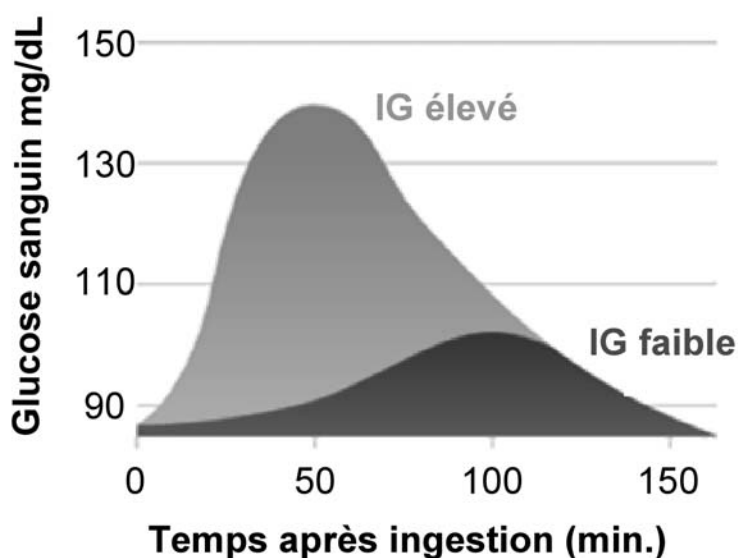


Figure 1 : Mesure de l'index Glycémique

L'ingestion d'aliments à IG élevé générerait un stress important sur le système de régulation de l'homéostasie glucidique pouvant endommager à terme les cellules, les tissus et les organes. En conséquence, les régimes riches en aliments à IG élevé augmenteraient le risque de développer des maladies chroniques liées au style de vie (Barclay et al., 2008). Depuis la mise en place du concept d'IG, de nombreuses investigations cliniques et études épidémiologiques ont été menées pour valider les effets positifs sur la santé d'un régime à base d'aliments à faible IG. L'efficacité de la consommation d'aliment à faible IG est très clairement établie pour la prévention du diabète et la régulation de la glycémie. Dans le cas des maladies cardiovasculaires, les conclusions sont partagées entre l'absence d'effet et une action bénéfique en fonction des cohortes (effets observés aux USA mais pas en Europe, ou pour les femmes et non pour les hommes) (Chiu et al., 2011). L'hypothèse que les aliments à fort index glycémique (IG) augmentent l'appétit et favorisent un apport énergétique excédentaire, tandis que les aliments à faible index glycémique diminueraient la sensation de faim et favoriseraient la perte de poids et donc la prévention du développement de l'obésité a été validée dans le cadre d'études d'intervention chez les diabétiques (McMillan-Price and Brand-Miller, 2006) mais n'est pas confirmée chez l'homme sain (Alfenas and Mattes, 2005) et reste controversé sur le long terme dans des conditions d'une alimentation diversifiée (Alfenas and Mattes, 2005; Feskens and Du, 2006; Sloth and Astrup, 2006), et par les résultats contradictoires des études épidémiologiques (Feskens and Du, 2006). La consommation d'aliment à faible IG est aussi associée à une diminution du risque de cataracte et de dégénérescence maculaire conduisant à la cécité les personnes âgées.

Les effets ou l'intérêt des aliments à faible IG au sein d'une alimentation diversifiée sont donc difficiles à décrypter car le « bénéfice santé » d'un régime alimentaire ne se réduit pas aux caractéristiques nutritionnelles d'un seul de ses constituants. Les effets d'un régime alimentaire riche en aliments à faible IG sont toutefois à considérer, ces derniers étant positifs ou dans le pire des cas sans effet, mais jamais négatifs. L'IG reste donc un outil intéressant pour comparer la réponse glycémique aux différents aliments amyliacés. Il permet de guider le développement des produits céréaliers et d'améliorer les connaissances scientifiques des effets sur la santé des régimes riches en glucides digestibles.

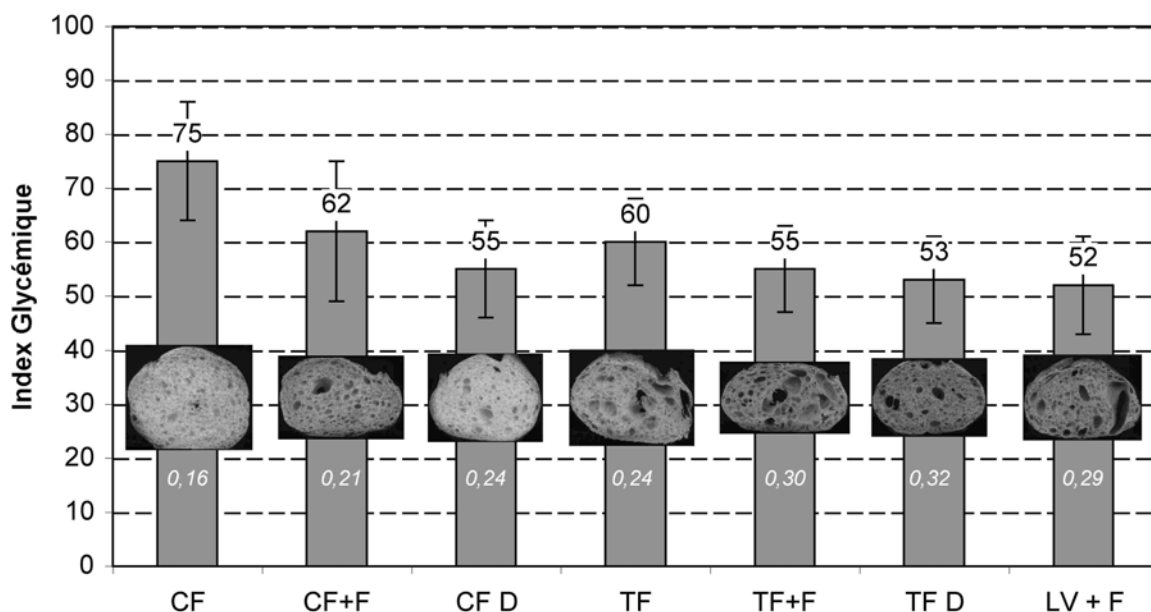
Par ailleurs, il ne faut pas négliger la partie de l'amidon d'un aliment qui échappe à la digestion dans l'intestin grêle (amidon résistant) et qui n'est pas pris en compte dans le concept d'IG. Dans les produits céréaliers, les amidons résistants ont deux origines : l'amidon non ou insuffisamment gélatinisé au cours de la cuisson et principalement la fraction de l'amidon qui rétrograde après cuisson pendant la conservation des aliments. Ces amidons résistants se comportent comme des fibres alimentaires : ils sont fermentés dans le côlon en acides gras à chaîne courte (AGCC) notamment en butyrate. Ils auraient en particulier un effet protecteur sur les cancers du côlon et plus largement sur les processus d'inflammation (Topping, 2007).

## L'exemple du pain

Le pain est un constituant très important du régime alimentaire des sociétés occidentales. Les ingrédients de base sont d'une remarquable simplicité (eau, levure, farine, sel), mais la diversité, des procédés de fabrication, des farines et des céréales utilisés, conduit à une gamme de produits aux propriétés nutritionnelles assez larges avec des valeurs d'IG variant de 80 pour une baguette classique à 40 pour un pain de seigle (Atkinson, Foster-Powell et al., 2008). Dans la croûte, quelques grains non déstructurés d'amidon peuvent subsister, mais dans la mie l'amidon est totalement gélatinisé. Le pain contient donc très peu d'amidon résistant et le rapport mie/croûte ne permet pas d'expliquer les forts écarts d'IG observés entre les différents produits de panification. En règle générale, le pain blanc est assimilé à un produit à fort index glycémique tandis que les pains complets et surtout le pain de seigle sont reconnus comme des produits à plus faible index glycémique. En réalité, au-delà de la nature des céréales ou de la présence de fibres, cette variabilité de l'IG est liée à la structuration de l'aliment qui dépend essentiellement du procédé de panification.

Des produits présentant des alvéolations et des densités très contrastées sont obtenus en jouant sur l'intensité du pétrissage et surtout sur la conduite de la fermentation (lente ou rapide, avec levure ou au levain). Par ailleurs, la présence de fibres affecte fortement la structure et la texture des produits de panification principalement en raison de leur forte capacité d'interaction avec l'eau mais aussi en affaiblissant le réseau de gluten. L'incorporation de fibres insolubles à une farine blanche en modifiant la rhéologie de la pâte conduit donc à des pains plus denses (Bonnand-Ducasse et al., 2010). Cet impact des fibres sur la structure de l'aliment a des conséquences importantes sur la réponse glycémique aux produits de panification.

Dans le cadre du projet AQUANUP, la densité de baguette a été modulée en diminuant la dose de levure ou en ajoutant des fibres. Les IG varient entre 75 pour les baguettes les moins denses à 52 pour les plus denses (Figure 2). De plus, un IG identique est obtenu pour une densité donnée indépendamment de la teneur en fibres (Saulnier et al., 2010). Plusieurs études confirment cette corrélation positive entre l'IG et la diminution du volume aussi bien sur des pains de mie (Burton and Lightowler, 2006) que sur le pain de seigle (Juntunen et al., 2003). L'IG passe ainsi de 86 pour un pain de mie de faible densité à 38 pour un pain de mie de forte densité. Les pains de seigle ont toujours un IG plus faible qu'un pain blanc à base de blé et l'enrichissement en sons de seigle du pain blanc à base de blé ne change pas son IG (Rosen et al., 2009). Ces résultats démontrent la prépondérance de l'effet structure (densité) vis-à-vis de la réponse glycémique au pain. Ce rôle prépondérant de la densité permet de mieux comprendre l'intérêt suscité par la fermentation au levain. En effet, cette dernière conduit généralement à une mie plus dense qui favorise une faible réponse glycémique des produits de panification (blé, seigle).



**Figure 2:** Index glycémique mesuré pour différents types de baguettes

Les mesures d'IG ont été réalisées sur 12 volontaires sains selon le protocole décrit par Rizkalla et al. (2006)

CF baguette courante; CF+F baguette courante enrichie en fibres; CF D baguette courante « dense »; TF baguette tradition; TF + F baguette tradition enrichie en fibres; TF D baguette tradition « dense »; LV + F : baguette au levain enrichie en fibres.

Les chiffres en blanc et en italique sous les images des baguettes correspondent à la densité des produits

Le mécanisme de la diminution de la réponse glycémique pour des pains denses n'est pas clairement identifié, il pourrait être lié à un temps de mastication plus important se répercutant sur la vitesse de vidange gastrique et globalement sur le temps de transit dans le tube digestif.

### L'exemple des pâtes alimentaires

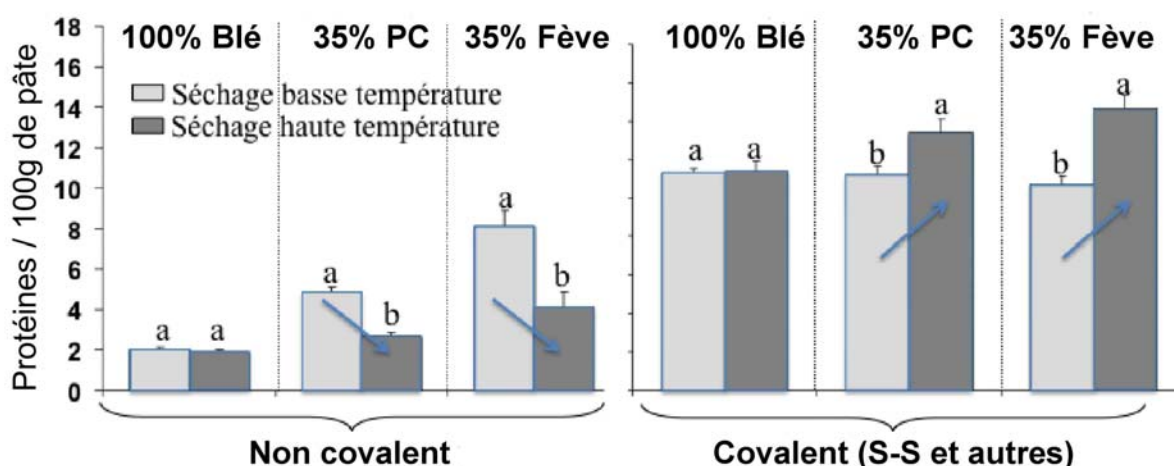
Les pâtes alimentaires au blé dur (70% d'amidon) sont des aliments à faible index glycémique. La structure des pâtes est déterminée par les étapes successives du procédé de fabrication : hydratation et malaxage de la semoule, mise en forme (par extrusion ou laminage), séchage et cuisson. Les pâtes cuites sont classiquement assimilées à une matrice hautement compacte, faite de granules d'amidon gonflés enchâssés dans un réseau de protéines, liées essentiellement (70%) par des ponts disulfures auxquelles s'ajoutent d'autres types de liaisons covalentes (12%) (Petitot et al., 2009a; Petitot et al., 2010). Une coupe transversale de spaghetti observée en microscopie révèle une nuance dans la structure de cette matrice. En allant de la périphérie au centre de pâte, trois zones se distinguent en fonction du gradient d'humidité concentrique lié à l'étape de cuisson. De l'extérieur vers l'intérieur de la pâte, on observe une diminution notable du degré de gonflement (gélatinisation) des granules d'amidon et un épaississement du réseau protéique.

Plusieurs caractéristiques structurales des pâtes alimentaires, concernant des niveaux d'échelles allant du macroscopique au moléculaire, sont citées comme pouvant être à l'origine de leur faible Index Glycémique (Petitot et al., 2009a; Petitot et al., 2009b). La taille et la forme de la pâte, sa compacité, le degré d'agrégation du réseau protéique et l'état structural de l'amidon lui-même peuvent changer la cinétique et le degré de gélatinisation de l'amidon et son degré d'hydrolyse. Un changement de la taille et de la forme de la pâte modifie la surface de contact avec l' $\alpha$ -amylase et la sensibilité de l'amidon à l'hydrolyse enzymatique. La compacité de structure de la pâte est donnée par l'étape de mise en forme. Des spaghettis extrudés sont légèrement plus compacts et possèdent un réseau protéine/amidon moins ouvert que des lasagnes laminées (Fardet et al., 1998). L'application sur une pâte extrudée très compacte d'un séchage par lyophilisation va en introduisant une macroporosité (pores >50 nm) dans la pâte se traduire par une augmentation spectaculaire du contenu des pâtes en glucose rapidement disponible de 60 à 87 g/100g (Petitot et al., 2010). La structure du réseau protéique « encapsulant » l'amidon peut également influencer l'hydrolyse enzymatique de l'amidon. Son renforcement par application d'un séchage haute température se traduit par un ralentissement de la digestion de l'amidon (Figure 3 et Tableau 1) (Petitot et al., 2010; Petitot et al., 2009b). Sur une pâte enrichie en protéines (pâtes contenant 35% de légumineuse), la teneur en glucides rapidement disponibles peut ainsi diminuer de 57-60 à 47 g/100 g (Petitot et al., 2010). Cette diminution serait liée, non pas à un épaississement du réseau protéique au niveau microscopique mais à une réticulation accrue des protéines entre elles par des liaisons covalentes fortes, formant de gros agrégats moléculaires plus résistants à l'attaque par les protéases (Petitot et al., 2010; Petitot et al., 2009b) et protégeant mieux l'amidon. La structure physique propre de ce dernier (degré de gélatinisation et de rétrogradation, ratio amylose/amylopectine) influence également son hydrolyse enzymatique.

Il demeure difficile de trancher sur l'importance respective de ces différents facteurs structuraux sur la réponse glycémique aux pâtes alimentaires. Les travaux portant simultanément sur la structure des pâtes et leurs propriétés nutritionnelles sont en effet, sans doute du fait de leur caractère pluridisciplinaire, en nombre très limité. De plus, la moitié de ces travaux sont plutôt centrés sur la digestibilité de l'amidon, la digestibilité de la fraction protéique et ses répercussions sur l'allergénicité étant peu étudiées malgré leur intérêt pour la santé du consommateur, les protéines du gluten et en particulier les gliadines ayant un potentiel allergénique important (Petitot et al., 2009a,b).

**Tableau 1** : Teneur des pâtes en glucose rapidement disponible en fonction de leur composition et de l'intensité du séchage utilisé

Pâtes	Glucose rapidement disponible (% des glucides disponibles)
35% Pois cassé-séchage basse T°C	59,4 <sup>a</sup>
35% Pois cassé séchage haute T°C	48,2 <sup>b</sup>
35% Fève-séchage basse T°C	59,8 <sup>a</sup>
35% Fève-séchage haute T°C	46,2 <sup>b</sup>

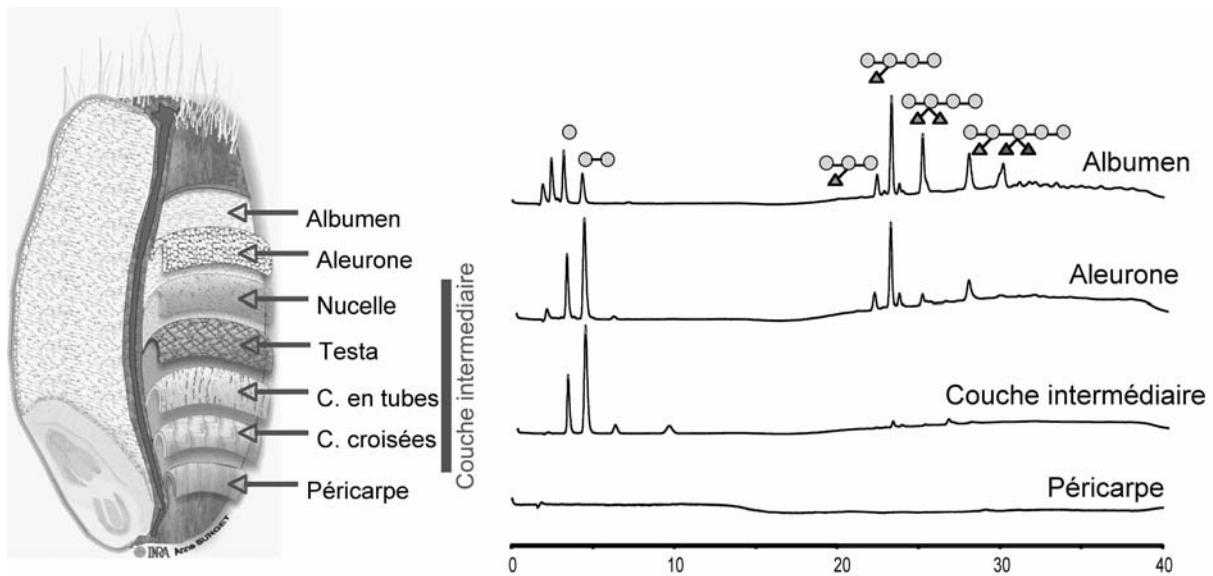
**Figure 3**: Etat de structuration du réseau protéique (liaisons faibles versus liaisons covalentes) de pâtes alimentaires cuites en fonction de leur composition (100% blé dur ; 35% pois cassé (PC) ; 35% fève) et du séchage (basse ou haute) température utilisé.

### Le cas des fibres alimentaires

Une consommation de 25 g à 35 g de fibres alimentaires par jour est recommandée chez l'adulte (Topping, 2007), mais dans la plupart des pays cette consommation est largement inférieure. En France, la consommation de fibres est de l'ordre de 17 g/j et les produits céréaliers, pourraient contribuer à augmenter l'apport en fibres alimentaires. Cet objectif nécessite toutefois d'accroître la teneur en fibres en utilisant des farines moins raffinées, en incorporant plus de grains entiers ou en utilisant des variétés plus riches en fibres.

L'exemple du pain, montre qu'en modifiant la structure de la matrice alimentaire les fibres de céréales agissent sur la digestibilité de l'amidon. Au-delà de cet effet technologique qui affecte la structure de l'aliment, les bénéfices pour la santé de la consommation de fibres sont principalement attribuées à leur fermentation par la flore intestinale, à la production d'acides gras à chaîne courte (en particulier le butyrate) et aux modifications de la flore (Brownlee, 2011; Smith and Tucker, 2011). Les effets des fibres fermentescibles sur la flore et la production de butyrate, participent à une cascade complexe d'événements métaboliques qui se traduisent globalement par une action anti-inflammatoire bénéfique pour la santé et la prévention des maladies cardiovasculaires, des maladies chroniques dégénératives comme le diabète ou d'autres pathologies chroniques comme le syndrome métabolique ou l'obésité (Galisteo et al., 2008).

Dans ce contexte, il est important de mieux contrôler l'origine des fibres en sélectionnant les fractions qui ont un potentiel de fermentation important. La figure 4 illustre les différences de structure des constituants entre les tissus du grain. Dans l'albumen amylicé et la couche aleurone, les arabinoxylanes (AX) sont les principaux constituants des fibres. L'action d'une endoxylanase fongique sur l'albumen ou sur la couche à aleurone génère les mêmes oligosaccharides (Fig. 4) ce qui démontre la similitude structurale des AX dans ces tissus. Ce résultat indique également que ces tissus sont facilement dégradés par les endoxylanases des bactéries coliques. Les tissus les plus externes du grain (péricarpe), sont partiellement lignifiés, riches en cellulose et en AX très fortement branchés dont la structure résiste aux endoxylanases fongiques (Ordaz-Ortiz et al., 2005) et aux enzymes de la flore colique.



**Figure 4 :** Chromatographie des oligosaccharides obtenus après hydrolyse par une endoxylanase des arabinoxylanes dans les différents tissus du grain. (d'après Ordaz-Ortiz et al. 2005). Les cercles représentent les résidus xylose liés par des liaisons  $\beta$ -(1,4), les triangles les résidus arabinose.

Dans le cadre du projet ANR WHEAFI, des fractions enrichies en couche aleurone et facilement fermentescibles ou enrichies en péricarpe et peu fermentescibles, ont donc été produites et incorporées dans les aliments (pains, pâtes, biscuits). Ces aliments seront consommés par des volontaires sains dans le cadre d'une étude clinique évaluant les différents marqueurs de l'inflammation. Dans cette étude, la structure des aliments est contrôlée en prenant soin notamment de ne pas induire de différence dans la densité des pains entre les aliments de référence et ceux enrichis en fibres. Les effets nutritionnels potentiellement observés seront liés aux différences de structure moléculaire des fibres.

### **Amélioration nutritionnelle et acceptabilité des produits céréaliers : l'exemple du pain**

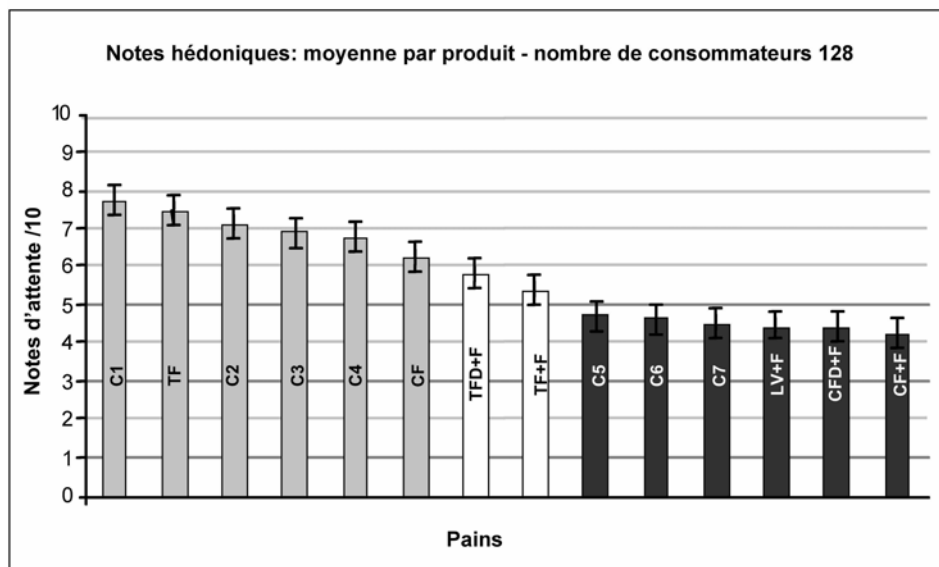
La modification de la structure des aliments céréaliers peut conduire à une amélioration de leur profil nutritionnel, mais se traduit également par un changement des caractéristiques organoleptiques et visuelles, pouvant affecter l'acceptabilité des produits par les consommateurs.



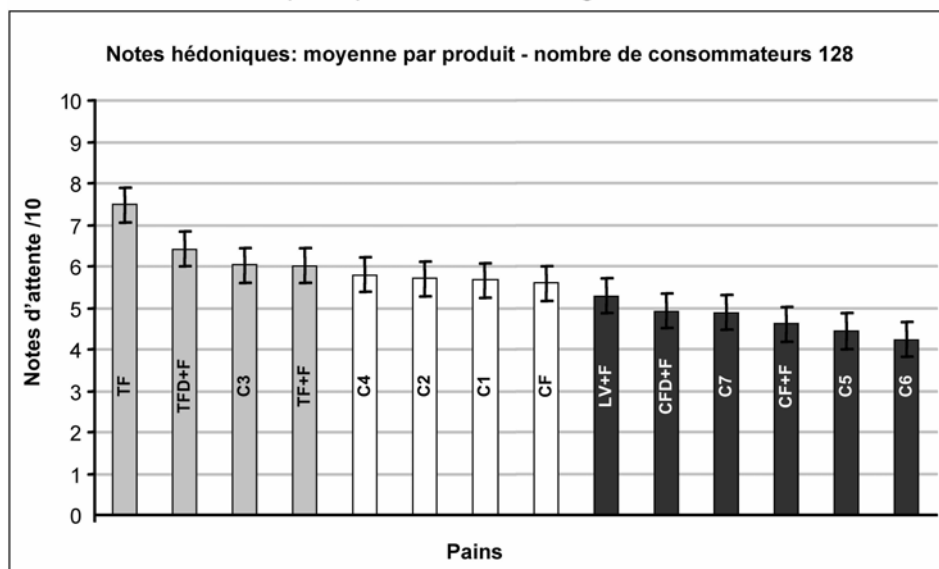
Dans le cas du projet AQUANUP l'impact de l'enrichissement en fibres de pains de type baguette a été évalué d'une part sur les caractéristiques sensorielles de ces produits et d'autre part sur les préférences des consommateurs pour ces produits (Martin et al., 2008). Des pains enrichis en fibres et fabriqués selon différents procédés (Pain courant français ou tradition) ont été élaborés et intégrés à un lot de baguettes présentant un large éventail de caractéristiques sensorielles, sélectionné parmi l'offre commerciale et en fonction de critères de fabrication (fabrication artisanale ou industrielle...). Au total, 14 pains (7 expérimentaux et 7 commerciaux) ont été évalués dans un premier temps par un jury expert de 14 dégustateurs pour établir le profil sensoriel des produits, puis dans un deuxième temps par un panel de 128 consommateurs. Pour chacun des 14 pains, les consommateurs ont donné une première note d'appréciation basée sur l'aspect des baguettes puis une seconde note après dégustation (Saulnier, Ducasse et al., 2010). L'ajout de fibres influence de nombreuses caractéristiques sensorielles, comme la couleur, la croustillance, la fermeté et la texture de la mie. Les pains enrichis en fibres se distinguent également par une typicité olfactive appartenant à l'univers « céréales » (céréales, seigle, malt).

L'enrichissement en fibres entraîne une diminution significative de l'attente suscitée par l'aspect des produits (Figure 5a). Cet effet négatif est particulièrement problématique pour le pain courant français puisque l'enrichissement conduit à un produit dont l'aspect suscite une attente moyenne très inférieure à la moyenne (produit classé dernier). La même tendance est constatée pour la baguette de type tradition, cependant la note d'attente reste au-dessus du niveau moyen de l'échelle. Une analyse plus fine des résultats met en évidence la présence de deux sous-groupes de consommateurs. Ainsi, 54 % d'entre eux apprécient l'aspect des pains riches en fibres mais uniquement pour les baguettes de type « tradition », tandis que l'autre partie du panel rejette les pains enrichis en fibres, quel que soit leur mode de fabrication. Une baisse de l'appréciation après dégustation est également observée. Néanmoins, pour les baguettes de type « tradition », l'effet négatif est très limité en ce sens que l'enrichissement conduit à un pain plus apprécié que la moyenne des 14 pains étudiés (classés 2<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> ; Figure 5b). En revanche pour une fabrication de type « pain courant français » la baguette enrichie en fibres est significativement moins appréciée que la moyenne (classé 12<sup>ème</sup> sur 14 ; Fig 5b). Deux groupes de consommateurs se distinguent encore ; ils correspondent aux sous-groupes identifiés précédemment. En outre, le rapprochement des données sensorielles et des données recueillies auprès des consommateurs montre que le premier groupe base essentiellement son appréciation sur des caractéristiques de texture : il apprécie les pains relativement fermes et ne semble pas gêné par les autres caractéristiques sensorielles des pains, y compris celles liées à l'enrichissement en fibres (arômes en particulier), ce qui l'oppose au deuxième groupe de consommateurs. L'analyse des données socio-démographiques a montré que l'âge moyen du groupe n'appréciant pas les caractéristiques sensorielles des pains riches en fibres est significativement supérieur à celui de l'autre groupe (48 ans contre 41). Ce lien avait été déjà identifié avec un autre panel de consommateurs sur un autre lot de baguettes (Martin et al., 2008) : il semble que les consommateurs les plus âgés n'apprécient pas les pains fermes et élastiques.

**A:** D'après l'aspect de cette baguette, pensez-vous que vous aimeriez ce type de pain ?



**B:** Avez-vous aimé le pain que vous venez de goûter ?



**Figure 5:** Attente hédonique des consommateurs pour les baguettes : acceptabilité des produits après inspection visuelle (A) et après dégustation (B).

Baguettes expérimentales: CF baguette courante; CF+F baguette courante enrichie en fibres; CFD baguette courante « dense »; TF baguette tradition; TF+F baguette tradition enrichie en fibres; TFD+F baguette tradition « dense » enrichie en fibres; LV+F : baguette au levain enrichie en fibres

Baguettes commerciales: C1-C7

Barres gris claires: notes supérieures à la moyenne; barres blanches: notes égales à la moyenne; barres gris foncées: notes inférieures à la moyenne; test de contraste : seuil 5%

## Conclusions

Ces quelques exemples sur le pain et les pâtes ont illustré l'importance de la nature et de l'intensité des procédés sur la structuration de l'aliment et l'impact de cette structure sur la digestibilité de l'amidon et la cinétique d'apparition du glucose dans l'organisme. Une approche multi-échelle est nécessaire pour appréhender les différents niveaux de structure impliqués dans les propriétés nutritionnelles des produits céréaliers. Ainsi, dans le pain, l'échelle macroscopique, de la densité de l'aliment, permet d'expliquer l'impact de la structure sur la digestibilité de l'amidon. Dans le cas de pâtes alimentaires à forme identique, la digestibilité de l'amidon peut être influencée par des éléments de structure relevant de l'échelle mésoscopique, intermédiaire entre l'échelle moléculaire et microscopique, comme la porosité et le degré d'agrégation covalente des protéines entre elles. Dans le cas des fibres alimentaires, plusieurs niveaux d'échelle peuvent entrer en jeu. Les fibres ont des effets technologiques conduisant à une augmentation de la densité des produits de panification qui diminue la réponse glycémique. Cet effet sur l'IG qui est induit par des changements de structure macroscopique peut se superposer à des effets nutritionnels liés à la fermentation des fibres qui est gouvernée par la structure moléculaire de ces dernières.

La digestibilité de l'amidon ou l'apport en fibres ne sont pas les seuls paramètres « santé » à prendre en compte pour les produits céréaliers. En effet, les grains de céréales sont une source de micronutriments : vitamines, minéraux et composés bioactifs, (phytohormones, composés phénoliques). Ces composés ont pour particularité d'être concentrés dans les tissus externes du grain et en particulier dans la couche à aleurone. Ainsi la consommation de fractions riches en fibres, comme les sons de céréales, est également associée à un apport en composés bioactifs. Cette répartition explique l'intérêt pour les céréales complètes, qui contrairement aux produits fabriqués à partir de farines raffinées, et au-delà de l'apport en fibres, sont riches en ces composés intéressants pour la santé.

Les critères de préférence des consommateurs ne sont pas toujours compatibles avec les innovations technologiques développées pour répondre aux recommandations nutritionnelles. Ainsi dans le cas de la baguette, l'introduction de fibres dégrade systématiquement l'acceptabilité visuelle, tandis que l'acceptabilité après dégustation est préservée uniquement pour certains produits, comme les baguettes de type « tradition ». Les résultats obtenus sur la baguette mettent également en évidence une certaine hétérogénéité des préférences parmi les consommateurs. L'hétérogénéité de l'attitude des consommateurs face aux améliorations nutritionnelles est également bien illustrée par les résultats du projet européen HealthGrain (Shepherd et al., 2012). Dans le cadre de ce projet, une enquête sur les bénéfices santé et les attentes hédoniques de la consommation de pain, de pâtes et de biscuits élaborés à partir de « grains entiers » ou de farine « raffinée » a été réalisée auprès des consommateurs de quatre pays européens (Allemagne, Finlande, Grande-Bretagne, Italie). Les principales conclusions de cette étude sont qu'il existe une différence de perception entre les pays, par exemple, les bénéfices « santé » des produits « grains entiers » sont fortement perçus en Finlande, et assez peu en Italie. Globalement, les femmes et les personnes âgées ont une perception plus positive des produits « grains entiers » et la modification du pain et des pâtes est mieux reçue que celle des biscuits. Enfin, le plaisir à la consommation, les bénéfices santé perçus et les motivations de santé sont les principaux critères qui semblent guider le consentement à utiliser les produits riches en « grain entiers ».

## Références bibliographiques

- Alfenas R.C.G., Mattes R.D., 2005. Influence glycemic index/load on glycemic response, appetite, and food intake in healthy humans. *Diabetes Care* 28, 2123-2129.
- Atkinson F.S., Foster-Powell K., Brand-Miller J.C., 2008. International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2008. *Diabetes Care* 31, 2281-2283.

- Barclay A.W., Petocz P., McMillan-Price J., Flood V.M., Prvan T., Mitchell P., Brand-Miller J.C., 2008. Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk - a metaanalysis of observational studies. *American Journal of Clinical Nutrition* 87, 627-637.
- Bonnand-Ducasse M., Della Valle G., Lefebvre J., Saulnier L., 2010. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science* 52, 200-206.
- Brouns F., Bjorck I., Frayn K.N., Gibbs A.L., Lang V., Slama G., Wolever T.M.S., 2005. Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews* 18, 145-171.
- Brownlee I.A., 2011. The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids* 25, 238-250.
- Burton P., Lightowler H.J., 2006. Influence of bread volume on glycaemic response and satiety. *British Journal of Nutrition* 96, 877-882.
- Chiu C.-J., Liu S., Willett W.C., Wolever T.M.S., Brand-Miller J.C., Barclay A.W., Taylor A., 2011. Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutrition Reviews* 69, 231-242.
- Fardet A., Hoebler C., Baldwin P.M., Bouchet B., Gallant D.J., Barry J.L., 1998. Involvement of the protein network in the in vitro degradation of starch from spaghetti and lasagne: a microscopic and enzymic study. *Journal of Cereal Science* 27, 133-145.
- Feskens E.J.M., Du H., 2006. Dietary glycaemic index from an epidemiological point of view. *Int J Obes* 30, S66-S71.
- Foster-Powell K., Holt S.H., Brand-Miller J.C., 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76, 5-56.
- Galisteo M., Duarte J., Zarzuelo A., 2008. Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome. *Journal of Nutritional Biochemistry* 19, 71-84.
- Juntunen K.S., Laaksonen D.E., Autio K., Niskanen L.K., Holst J.J., Savolainen K.E., Liukkonen K.-H., Poutanen K.S., Mykkanen H.M., 2003. Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am J Clin Nutr* 78, 957-964.
- Martin C., Courcoux P., Chiron H., Issanchou S., 2008. Caractéristiques sensorielles clés de l'acceptabilité d'un pain de type baguette française. *Industries des céréales* 159, 6-19.
- McMillan-Price J., Brand-Miller J., 2006. Low-glycaemic index diets and body weight regulation. *Int J Obes* 30, S40-S46.
- Ordaz-Ortiz J.J., Devaux M.-F., Saulnier L., 2005. Classification of wheat varieties based on structural features of arabinoxylans as revealed by endoxylanase treatment of flour and grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 8349-8356.
- Petitot M., Abecassis J.I., Micard V.r., 2009a. Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends in Food Science & Technology* 20, 521-532.
- Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V.r., 2010. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International* 43, 634-641.
- Petitot M., Brossard C., Barron C., Larré C., Morel M.-H., Micard V., 2009b. Modification of pasta structure induced by high drying temperatures. Effects on the in vitro digestibility of protein and starch fractions and the potential allergenicity of protein hydrolysates. *Food Chemistry* 116, 401-412.
- Rizkalla S.W., Laromiquiere M., Champ M., Bruzzo F., Boillot J., Slama G., 2006. Effect of baking process on postprandial metabolic consequences: randomized trials in normal and type 2 diabetic subjects. *Eur J Clin Nutr* 61, 175-183.
- Rosen L., Silva L., Andersson U., Holm C., Ostman E., Bjorck I., 2009. Endosperm and whole grain rye breads are characterized by low post-prandial insulin response and a beneficial blood glucose profile. *Nutrition Journal* 8, 42.
- Saulnier L., Ducasse M., Chiron H., Della Valle G., Martin C., Issanchou S., Rouau X., Rizkalla S.W., 2010. Impact of texture modification and dietary fibre content on the glycemic index and the

acceptability of French bread. In: Jan-Willem Van der Kamp, J.J., Barry McCleary, David Topping (Ed.) *Dietary fibre: new frontiers for food and health*. Wageningen Academic Publishers, pp. 115-120.

Shepherd R., Dean M., Lampila P., Arvola A., Saba A., Vassallo M., Claupein E., Winkelmann M., Lähteenmäki L., 2012. Communicating the benefits of wholegrain and functional grain products to European consumers. *Trends in Food Science & Technology* in press.

Sloth B., Astrup A., 2006. Low glycemic index diets and body weight. *International Journal of Obesity* 30, S47-S51.

Smith C.E., Tucker K.L., 2011. Health benefits of cereal fibre: a review of clinical trials. *Nutrition Research Reviews* 24, 118-131.

Topping D., 2007. Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *Journal of Cereal Science* 46, 220-229.