

## **L'amélioration de la valeur nutritionnelle des pains bio**

**Christian Rémésy et Fanny Leenhardt**  
**Unité de Nutrition Humaine, INRA Theix**  
**63122 Saint Genès Champanelle**  
**remesy@clermont.inra.fr**

Longtemps, l'offre de pains bio a été composée surtout de pains complets et de pains bis tandis que la filière conventionnelle se limitait à la production de pains blancs très aérés. Depuis une quinzaine d'années, la filière-blé pain conventionnelle a fait de gros efforts pour améliorer la qualité du pain, en particulier en promouvant les pains de tradition française. Cette initiative était indispensable mais il ne semble pas qu'elle soit suffisante pour aboutir à l'excellence sur le plan nutritionnel dans la mesure où la majorité des pains est encore élaborée avec des farines de type 55 ou 65, dépourvues des composés protecteurs (fibres, minéraux, vitamines) naturellement présents dans les enveloppes et le germe du grain de blé. En fait, le discours de la filière blé-pain sur l'intérêt nutritionnel du pain se limite généralement à la fourniture de glucides. Le pain est présenté comme étant une source de glucides complexes, ce qui n'est pas extrêmement clair.

Parce qu'on a longtemps attribué au pain blanc un très mauvais index glycémique (capacité d'un aliment à élever fortement le taux de sucres dans le sang), la filière s'est attachée à juste titre à montrer que le pain de tradition avait un index glycémique relativement modéré. Cependant, les critères de qualité nutritionnelle du pain ne se résument pas à l'index glycémique, même si celui-ci gagne à être amélioré. En effet, pour que la consommation d'un aliment glucidique soit pleinement bénéfique pour la santé, il faut également que cet aliment soit une source suffisante de protéines, de fibres et de micronutriments. Lorsque l'on consomme trop de glucides sous forme de sucres simples ajoutés, de céréales raffinées ou d'amidon purifié, on prive l'organisme des facteurs de protection apportés par les fibres alimentaires et les micronutriments. Ces arguments ne sont pas seulement théoriques, puisque les enquêtes épidémiologiques ont montré que la consommation de produits céréaliers complets ou semi-complets est beaucoup plus efficace pour la prévention des pathologies majeures (telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires et certains cancers) que celle de produits céréaliers raffinés tels que le pain blanc.

Il est donc essentiel de mettre en relief l'ensemble des critères de qualité nutritionnelle du pain : non seulement l'index glycémique, la densité nutritionnelle (teneur en fibres, minéraux et micronutriments pour un apport énergétique donné), mais aussi un ensemble d'effets digestifs (transit intestinal) et métaboliques (effet sur la cholestérolémie par exemple).

Certains effets nutritionnels du pain ne sont pas faciles à exposer puisqu'il existe des réglementations relativement strictes à ce sujet (allégations nutritionnelles). Par contre, les critères de densité nutritionnelle, c'est-à-dire la richesse du pain en fibres, minéraux et vitamines sont faciles à communiquer à un large public et la maîtrise de cette densité est très importante pour la gestion de la santé.

### **L'intérêt nutritionnel des types de farines ( tableau 1)**

Pour communiquer sur la densité nutritionnelle, la filière blé pain a une chance historique de pouvoir s'appuyer sur la définition des types de farines, or cette chance a jusqu'ici était très peu exploitée. De quoi s'agit-il ? Chacun sait que le type de farine, défini par une teneur de minéraux/100 gr a longtemps servi à donner un cadre réglementaire aux meuniers et à garantir le degré de raffinage des farines. Le public a entièrement été laissé dans l'ignorance de cette spécificité. L'absence de l'unité de référence (quantité de minéraux/100 gr de farine) rend incompréhensible la valeur du type de farine, qui est souvent assimilé par beaucoup à un indice de granulométrie. Pourtant le type de farine est intéressant à connaître puisqu'il y a une proportionnalité très forte entre les teneurs en minéraux (qui sert à définir le type) et les autres éléments protecteurs, fibres et vitamines.

A la différence de la filière conventionnelle, la filière bio communique plus facilement sur le type de farines et surtout met à la disposition des consommateurs et des boulangers une large gamme de type de farines et en particulier de type 80. L'offre en pains bio est donc bien adaptée aux recommandations du Programme National Nutrition et Santé (PNNS) en faveur de l'utilisation des farines de type 80 alors que la filière conventionnelle tarde à faire évoluer son offre vers les pains 80. Cependant il y a un risque d'une évolution de la filière biologique vers la production de pains plus blancs, ce qui serait en contradiction avec l'éthique de la démarche bio de mieux nourrir les hommes tout en protégeant l'environnement.

## **Améliorer la qualité des farines par le choix des variétés et aussi par les procédés de mouture**

Une des préoccupations de la filière bio est de connaître la nature des variétés de blés qu'elle doit sélectionner pour faire le meilleur pain possible. Théoriquement, sur le plan nutritionnel, il est intéressant de disposer de variétés de blé suffisamment riches en protéines, en fibres digestibles et en minéraux et micronutriments biodisponibles. La question des protéines qui est à relativiser concernant la valeur boulangère demeure essentielle sur le plan nutritionnel pour satisfaire au mieux les apports d'acides aminés par les produits végétaux plutôt que par les produits animaux. Ainsi l'utilisation des blés de force riches en protéines et des farines riches en couche d'aleurone ne peut être que favorable à la satisfaction des besoins en protéines. Par ailleurs, il semble que les variétés les plus riches en protéines soient également les plus riches en vitamines (Thèse F. Leenhardt, 2005), d'où la possibilité de faire une sélection plus globale via ce paramètre.

A notre connaissance, la sélection n'a guère porté jusqu'à présent sur la question des fibres ou des vitamines. Un effort particulier devrait être fait pour sélectionner des variétés de blé tendre riches en caroténoïdes, à l'instar de l'engrain. Concernant les minéraux, il est clair que l'augmentation éventuelle des teneurs en minéraux que l'on pourrait obtenir par la sélection a un effet beaucoup moins important que l'influence des procédés de mouture ; d'où l'intérêt de généraliser des farines minimum de type 80 .

Il faut être conscient que pour obtenir une farine de type 80, la farine doit être enrichie en fragments d'enveloppes ou de germe compte tenu de la richesse de ces fractions en micronutriments. La manière la plus ancienne d'avoir une farine type 80 est l'utilisation des farines de meules. En effet, ce type de mouture, par les pressions et les frictions qu'elle exerce sur les enveloppes et le germe, parvient à inclure des éléments de ces fractions dans la farine finale, même après un tamisage fin. Il est notable qu'après être tombé en désuétude, la mouture sur meules puisse représenter une solution intéressante pour des petites unités et satisfaire une demande de farine et de pain de bonne qualité nutritionnelle dans une démarche de proximité.

Cependant, la voie principale pour produire des farines de type 80 est actuellement la mouture sur cylindres. Avec la plupart des diagrammes sur cylindres, l'incorporation de remoulages à la farine blanche suffit largement pour obtenir une T80, ce qui correspond d'ailleurs à une augmentation du rendement meunier qui passe ainsi de 77 % pour une T65 à 82 % environ pour une T80. Lorsque ce type de farine reconstituée est panifiée en direct comme une T65,

sans adapter le diagramme de panification, le résultat final peut paraître peu satisfaisant par manque d'hydratation des fibres et du fait d'un temps de fermentation beaucoup trop court. La panification au levain ou un long pointage bac à la levure permettent d'obtenir des résultats très satisfaisants.

Pour diversifier et améliorer les pains type 80, le laboratoire de l'INRA à Clermont-Ferrand a préconisé deux autres voies : celle de l'utilisation du blé entier concassé et celle de l'utilisation des semoules.

### ***Incorporation de blé entier concassé***

Une des solutions les plus simples pour produire des pains bis est d'opérer un mélange farine blanche/farine complète (80/20%). Cependant si on panifie ce type de mélange sans précaution particulière (par exemple avec une faible hydratation et un temps de fermentation bref), on obtient des pains de qualité bien moyennes. Nous avons pensé qu'il était préférable d'utiliser des farines grossières, telles qu'une boulange issue du 1<sup>er</sup> broyage sur cylindres (qualifiée de B<sub>1</sub>) ou du blé concassé à la meule de pierre, et d'adapter en conséquence le mode de panification.

La méthode qui a été mise au point consiste à conduire une panification en deux temps: Avant la panification classique, une première étape est consacrée à l'hydratation de la boulange (1,25 litre par kg de blé), avec un faible ensemencement de pâte fermentée ou de levain liquide; cette préfermentation peut durer de 12 à 20 h et être conduite à température ambiante ou partiellement au froid. Dans la mesure où il faut beaucoup de temps pour hydrater le blé grossièrement broyé, seul un long pointage bac peut dispenser de cette étape de préfermentation.

Cette technique de panification utilisant une boulange grossière préfermentée est maintenant utilisée dans les quelques départements où nous avons pu en faire la promotion, en Loire Atlantique, en Auvergne, dans la Drôme et prochainement dans le Vaucluse. Les pains au B<sub>1</sub> présentent des caractéristiques intéressantes : ils ont une mie relativement claire et quelques particules de blé plus lentes à digérer. Sur le plan conceptuel, on peut imaginer utiliser des variétés anciennes ou locales réputées pour leur valeur nutritionnelle pour garder la totalité des micronutriments, « typer » le pain ; il est possible aussi d'utiliser du blé bio seulement pour la fourniture du B<sub>1</sub> (sans pouvoir revendiquer une appellation « bio ») avec une garantie d'absence de pesticides. Beaucoup de boulangers gagneraient à tester cette technique de préfermentation de B<sub>1</sub> pour faire un pain courant (et non une spécialité supplémentaire) de bonne qualité nutritionnelle.

La technique de préfermentation peut également être utilisée pour incorporer des sons (ou des remoulages). Le fait d'hydrater les sons (1 poids/ 3 vol d'eau) avec un peu de levure ou une source de levain ou de pâte fermentée améliore considérablement la panification, qu'il s'agisse de pains type 80 ou de pains plus complets.

### ***L'utilisation des « semoules vêtues »***

Compte tenu des spécificités (perçues comme une difficulté pour certains) d'utilisation du B<sub>1</sub> ou d'autres fractions riches en fibres (ce qui demande une préfermentation ou un long pointage bac), nous avons recherché la possibilité d'obtenir une nouvelle façon de produire des T80 par le biais de la préservation des semoules.

En France, les blés tendres destinés à la panification sont du type moyennement durs avec un degré de dureté qui peut différer selon les variétés et les conditions de culture. Ceci signifie que l'albumen du blé tendre est naturellement désagrégé en farine et en semoules. Il faut donc mettre en œuvre une deuxième étape de claquage et de convertissage pour réduire les semoules en farine.

Il est bien connu que l'on peut faire du pain avec de la semoule de blé dur, même si le produit obtenu est sensiblement différent de notre baguette de pain blanc. Puisque le pétrissage arrive à former une pâte panifiable avec de la semoule de blé dur, un résultat similaire peut être obtenu avec des semoules de blé tendre qui ont la capacité de se désagréger plus facilement que les particules de blé dur. C'est pourquoi nous avons pensé qu'il était envisageable, pour faire du pain, de ne plus écraser les semoules de blé tendre en farine. Par ailleurs, ceci permet d'obtenir une T80 puisqu'une partie des semoules sont recouvertes d'un fragment d'enveloppes externes (semoules bises ou vêtues).

Cependant, le fait de conserver les semoules (ni claquage ni convertissage) pose des problèmes aux meuniers compte tenu de la conception actuelle des diagrammes de mouture, en effet cela revient à court-circuiter un certain nombre d'appareils qui tournent ainsi à vide. Face à cette difficulté, les meuniers peuvent avoir le choix de faire une dérivation peu importante pour recueillir des semoules issues par exemple du 2<sup>ème</sup> broyeur et les incorporer à raison de plus de 30% à la farine blanche. L'idéal serait bien sûr d'adapter le diagramme de panification pour réellement réduire les dépenses d'énergie et aboutir à un mélange judicieux d'environ 40-50% de farine et 40-50% de semoules de tailles différentes.

La préservation des semoules réduit les oxydations, ce qui est important pour la conservation des vitamines et en particulier de la vitamine E et des caroténoïdes. Autre avantage évident : la pulvéulence des farines est fortement diminuée ; une particule de semoule de 1 mm

pouvant donner théoriquement 1000 particules de farine de 0,1 mm. Ceci devrait avoir une influence favorable sur la prévention de nombreuses maladies professionnelles dues aux poussières de farine.

L'utilisation des semoules en panification ne pose pas de problèmes particuliers, il faut seulement laisser aux semoules le temps de s'hydrater et assurer un bon développement des fermentations, comme pour toute panification de qualité. Ce nouveau procédé de mouture devrait se traduire par une amélioration très sensible de la qualité nutritionnelle du pain et également des conditions de vie des boulangers. Déjà quelques entreprises ont fait le choix de produire des farines de T80 avec 30% de semoules et de proposer aux boulangers une panification adaptée avec un long pointage en bac.

Il est certain que la préservation des semoules serait la voie la plus économe en énergie et la plus sûre sur le plan nutritionnel pour généraliser les pains de type 80 ; le problème provient essentiellement de l'automatisation des moulins à cylindres actuels et donc de leur difficulté à produire des semoules. On peut émettre le vœu que de nouveaux équipements soient directement conçus pour préserver les semoules de l'écrasement. Il faut noter que des farines de type 80 aux semoules sont également très intéressantes à utiliser en viennoiserie.

### **Maîtrise de la fermentation panaire**

La panification à la levure, lorsque la durée de fermentation est très faible, inférieur à 2 ou 3 heures, a un impact très limité sur la biochimie de la pâte. Il se produit un début d'hydrolyse de l'amidon, une production de CO<sub>2</sub> et d'alcool et une synthèse d'arômes, le pH de la pâte est très peu abaissé. Lorsque l'on prolonge la durée de fermentation à la levure, les modifications métaboliques réalisées au sein de la pâte deviennent plus complexes, le pH s'abaisse à la suite de la prolifération des bactéries présentes dans la farine, diverses activités hydrolytiques se mettent en route (hydrolyse de l'acide phytique) et le milieu peut s'enrichir en vitamines B (Batifoulier, 2005). Tous ces éléments militent en faveur de l'utilisation de poolish ou d'un long pointage bac.

Cependant la méthode la mieux adaptée pour la panification bio demeure l'utilisation d'un levain naturel, constitué de levures sauvages et de bactéries lactiques. Le levain par la production d'acides organiques et la baisse du pH peut exercer de nombreuses activités hydrolytiques intéressantes sur le plan nutritionnel. Il s'agit en premier, de la dégradation de l'acide phytique ( la réserve naturelle de phosphore du grain de blé) abondant dans les farines

bises ou complètes, sachant que ce composé peut diminuer la biodisponibilité intestinale de certains minéraux (fer, zinc ..)

Un des bénéfices majeur de la fermentation des céréales complètes avec des ferments naturels type levain concerne donc l'assimilation des minéraux. Nous avons montré que la fermentation en milieu liquide était d'une efficacité quasi-totale pour détruire l'acide phytique (y compris à partir de son), ce qui justifie largement *a posteriori* la validité des techniques traditionnelles de fermentation des céréales sous forme de bouillies de par le monde (Lioyer et al 2006). Figure1.

Il faut noter que la dégradation de l'acide phytique est à la fois dépendante des activités des phytases végétales et microbiennes. Par ailleurs, l'activité de la phytase végétale de blé est optimale aux alentours de 5,5 et celle des phytases microbiennes principalement issues des bactéries lactiques est maximale à pH 4,5) (Leenhardt *et al.*, 2005). Dans des procédés de fermentation au levain classique avec une hydratation de 0.65L au Kg, les micro-organismes parviennent à baisser le pH jusqu'à 4,5 si le temps de fermentation est suffisamment long, par contre l'hydratation s'avère insuffisante pour obtenir la dégradation maximale de l'acide phytique (Lopez *et al.*, 2001).

On peut attendre également de la fermentation au levain le développement d'autres activités hydrolytiques telles l'hydrolyse du gluten par des enzymes protéolytiques. A côté des intolérances strictes au levain, responsables de la maladie coeliaque et qui demandent une exclusion stricte de toute source de gluten, il existe des allergies au gluten beaucoup moins sévères. La théorie selon laquelle les variétés modernes de blé sélectionnées pour la viscoélasticité de leur levain seraient plus allergènes que les variétés anciennes ne repose sur aucune certitude. Par contre, il existe déjà des travaux qui mettent en évidence les effets bénéfiques du levain via ses activités hydrolytiques directes, ou celles des protéases de la farine stimulées par la baisse du pH. Voir articles de Di Cagno et al.

La manière de conduire la panification au levain diffère selon les farines disponibles (leurs valeurs boulangères et leurs richesses en fibres) et le savoir faire des boulangers. Cependant, les données théoriques et expérimentales incitent à recommander plutôt un faible ensemencement en levain compensé par un temps de fermentation long avec une hydratation élevée, en particulier pour favoriser l'action des phytases ou protéases végétales.

### **La problématique de l'index glycémique**

L'index glycémique (IG) est un outil permettant de classer les glucides selon leur vitesse d'absorption intestinale après un repas. Un aliment de faible IG diminue la sécrétion

d'insuline en phase post-prandiale des sujets sains et permet également d'améliorer le contrôle de la glycémie tant chez les sujets sains que chez les sujets diabétiques.

On a longtemps attribué au pain blanc un très mauvais index glycémique. En réalité le pain présente un index glycémique très variable en fonction des techniques de panification. Il est probable que l'index glycémique du pain varie en fonction de sa masse volumique. Ainsi le pain de tradition française, moins aéré qu'un pain blanc courant a un index glycémique abaissé. Les pains bio de masse volumique élevée seraient donc à ranger dans la catégorie des pains à index glycémique modéré (inférieur à 70).

La fermentation au levain pourrait être une alternative possible pour diminuer l'index glycémique du pain dans la mesure où elle aboutit à une production de mie moins aérée. De plus, les acides organiques pourraient ralentir la vidange gastrique ; une étude a montré que l'addition de vinaigre à du pain blanc (à des quantités similaires à celles produites par le levain) agit à ce niveau (Liljeberg & Bjorck, 1996). Ainsi les pains au levain auraient un meilleur index glycémique que des pains à la levure beaucoup plus levés et dépourvus d'acides organiques.

En théorie, la vitesse de digestion de l'amidon est proportionnelle à son degré de gélatinisation et à l'accessibilité de la mie aux amylases. On considère que la cuisson du pain aboutit à une forte gélatinisation de son amidon. Compte tenu du coût très élevé des études cliniques pour contrôler l'index glycémique, il nous a semblé intéressant d'examiner la préservation des grains d'amidon dans divers type de pains. Ces observations ont été réalisées au microscope à balayage électronique.

Trois facteurs sont susceptibles de ménager les grains d'amidon : un pétrissage très modéré, l'absence d'utilisation d'une amylase exogène et la taille des particules de farines . dans ces conditions, nous avons trouvé que l'utilisation de farines intégrales broyées grossièrement ou de semoules aboutissait à une bonne conservation des grains d'amidon.

Sur le plan nutritionnel, il est peu souhaitable d'encourager la filière bio à produire des pains de trop faible masse volumique pour plaire aux consommateurs. Par contre il est particulièrement important que les pains bios bénéficient de la meilleure fermentation possible, à la fois pour des objectifs organoleptiques et nutritionnels. La nécessité de réduire le sel soit devrait être particulièrement pris en compte par les boulangers bio pour répondre aux recommandations de santé publique.



### **Composition du pain selon l'obtention des types de farines ( *tableau 2* )**

Nous avons pu comparer l'influence de 4 façons de produire des farines de type 80 ( farines de meules de pierre, farine de cylindre additionnée de remoulages, préservation des semoules, ou mélange de farine blanche et complète) sur la composition des pains.

Minéraux : Il existe une augmentation de + 50% en Mg dans les pains de type 80 en comparaison du pain blanc. Cet enrichissement est encore plus important (+ 75%) en ce qui concerne le Zn. L'augmentation des teneurs en Ca et K est beaucoup plus modérée. L'utilisation de farines de meules permet de disposer de pains plus riches en Mg (+20%) que des T80 sur cylindres. Sur ce point, on retrouve exactement le même résultat qu'au niveau des farines. L'incorporation de 25% de B<sub>1</sub> dans une farine tradition permet d'obtenir des teneurs en minéraux voisines de celle des farines de type 80 reconstituées

Fibres et vitamines : quels que soient leurs modes de production, les farines de type 80 ont les mêmes teneurs en fibres et des teneurs en vitamines B relativement comparables. Seule la teneur en vitamine E des pains produits à partir de farine de meules est légèrement plus élevée, ce qui s'explique par la meilleure récupération du germe (qui concentre la majeure partie de la vitamine E du grain) avec ce procédé de mouture par écrasement.

Au vu de ces résultats, la manière de confectionner les farines de type 80 ne revêt pas une influence nette sur la composition du pain. L'essentiel semble d'une part de disposer de farines au moins de type 80 et d'adapter les procédés de fermentation lorsqu'on utilise des fractions riches en fibres.

### **Conclusion**

Pour optimiser la valeur nutritionnelle des pains bio, il est indispensable de disposer de farines de densité nutritionnelle suffisamment élevées (au moins de type 80). Il est possible de diversifier les modes d'obtention des farines type 80 sans inconvénient nutritionnel notable. Nous avons de plus mis en évidence qu'il était intéressant d'utiliser directement des semoules bisées en panification, ce qui permet d'aboutir à des farines de type 80 où les grains d'amidon sont d'avantage ménagés.

Une des originalités de la filière bio est de panifier préférentiellement au levain naturel. L'utilisation du levain offre un avantage unique pour accroître la biodisponibilité des

minéraux. Cependant, le déroulement de la panification n'est pas toujours optimal pour hydrater les fibres et détruire l'acide phytique. Il faut donc souligner l'importance de l'hydratation de la pâte et du temps de fermentation mais aussi l'intérêt de pratiquer la préfermentation de fractions riches en fibres.

L'intérêt du levain dépasse sans doute la question de la biodisponibilité des minéraux puisqu'il développe un très grand nombre d'activités fermentaires et en particulier une certaine hydrolyse du gluten qui pourrait s'avérer utile pour prévenir les cas d'intolérance au gluten. Ce sujet n'a pas à notre avis suffisamment été abordé.

On a souvent reproché au pain bio d'avoir une masse volumique très élevée. Or nous avons montré que des pains bios tels qu'ils sont produits par les paysans boulangers présentaient la caractéristique intéressante de conserver des grains d'amidon apparemment (microscopie électronique à balayage) peu gélatinisés. Il est donc fort probable que les pains bios aient un meilleur index glycémique (IG) que les pains blancs courants mais aussi que le pain de tradition française qui présente pourtant un IG amélioré. Il serait donc risqué d'encourager trop fortement la filière bio à faire des pains plus aérés pour ressembler aux produits conventionnels. En la matière, nous ne disposons pas d'une très grande marge de manœuvre pour tenir compte à la fois des préférences habituelles des consommateurs et la réalisation d'un pain relativement optimal sur le plan nutritionnel. Un des risques serait de faire évoluer les pains bio principalement selon une démarche de marketing qui leur ferait perdre de leur valeur nutritionnelle.

Il est normal qu'en plus des critères de sécurité, la filière bio tende vers l'excellence nutritionnelle (respect également des normes de réduction de sel). De plus, il est important de pouvoir proposer au public un pain bio dont le prix ne favorise pas une alimentation à 2 vitesses. Déjà, dans la filière conventionnelle la présentation du pain sous forme de baguette de tradition française contribue fortement à renchérir le pain. C'est pourquoi la filière bio devrait privilégier des présentations du pain, qui permette de proposer un pain bio à des prix au kg raisonnables. Ceci est d'autant plus justifié qu'une panification au levain en milieu suffisamment hydraté permet une excellente conservation du pain.

## Travaux effectués au laboratoire

Leenhardt F, Levrat-Verny M-A, Chanliaud E & Rémésy C. (2005) Moderate decrease of pH by sourdough fermentation is sufficient to reduce phytate content of whole wheat flour through endogenous phytase activity. *J. Agric Food Chem.* 12;53(1):98-102. (IF= 2.507)

Chaurand M, Rémésy C, Fardet A, Leenhardt F, Bar-L'Helgouach C, Taupier-Letage B & Abecassis J. (2005) Influence du type de mouture (cylindres vs meules) sur les teneurs en minéraux des différentes fractions du grain de blé en cultures conventionnelle et biologique. *Industries des Céréales* n°142.

Leenhardt F, Lyan B, Rock E, Boussard A, Potus J, Chanliaud E & Rémésy C. (2005) Wheat lipoxygenase activity induces greater losses of carotenoids than vitamin E during breadmaking. *J. Agric Food Chem.* 54(5):1710-5. (IF= 2.507)

Leenhardt F, Lyan B, Rock E, Boussard A, Potus J, Chanliaud E, & Rémésy C. (2006) Genetic variability of carotenoid concentration and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *Eur. J. Agron.* 25(2): 170-176. (IF= 2.085)

Leenhardt F, Rémésy C ( 2007) Addition of bread wheat semolina to flour leads to preservation of starch granular structure during bread making , C E Spring Meeting, Montpellier 2007

Oury F-X, Leenhardt F, Rémésy C, Chanliaud E, Duperrier B, Balfourier F & Charmet G. (2006) Genetic variability and stability of grain mineral contents in bread wheat. *Eur. J. Agron.* 25(2) : 177-185.

Lioger D., Leenhardt F. & Rémésy C. (2006) Intérêt de la fermentation en milieu très hydraté des produits céréaliers riches en fibres pour améliorer leur valeur nutritionnelle. *Industries des Céréales.* n°149: 14-22.

Lioger D, Leenhardt F, Demigne C & Rémésy C. (2006) Sourdough fermentation of wheat fractions rich in fibres before their use in processed food. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 87 (1368-1373)

Fardet A, Leenhardt F, Lioger D, Scalbert A & Rémésy C. (2006) Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition Research Reviews*, **19**, 18-25.

Lioger D & Rémésy C. (2006) Efficiency of sourdough fermentation on phytic acid breakdown and mineral bioavailability in wheat fractions rich on fibres. *Third International Symposium on Sourdough.* Bari, Italy.

Rémésy C, Leenhardt F,( 2007) Développer les pains bis de type 80, valeurs boulangères , 9 : 36-39

Batifoulier -FV, -M-A; Chanliaud,-E; Remesy,-C; Demigne,-C (2005) Effect of different breadmaking methods on thiamine, riboflavin and pyridoxine contents of wheat bread. *Journal-of-Cereal-Science* **42(1)**:, 101-108.

A. Fardet, C. Canlet, G. Gottardi, R. Llorach, B. Lyan, C. Rémésy, A. Mazur, A. Paris, A. Scalbert (2007). Whole-grain and refined wheat flours show distinct metabolic profiles in rats as assessed by a <sup>1</sup>H NMR-based metabonomic approach. *The Journal of Nutrition*, **137(4)**, 923-929.

D. Lioger, A. Fardet & C. Rémésy (2007). Quels types de produits céréaliers pour le petit déjeuner ?. *Les Cahiers de Nutrition et de Diététique*.

### **Quelques références bibliographiques sur les activités du levain**

Czerny M & P Schieberle (2002) Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white wheat flour-identification and quantitative changes during sourdough fermentation. *J Agric Food Chem* **50**, 6835-6840.

Di Cagno R, M De Angelis, S Auricchio, L Greco, C Clarke, M De Vincenzi, C Giovannini, M D'Archivio, F Landolfo, G Parrilli, F Minervini, E Arendt & M Gobbetti (2004) Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected lactobacilli is tolerated in celiac sprue patients. *Appl Environ Microbiol* **70**, 1088-1096.

Di Cagno R, M De Angelis, P Lavermicocca, M De Vincenzi, C Giovannini, M Faccia & M Gobbetti (2002) Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Appl Environ Microbiol* **68**, 623-633.

Gobetti M.(2006) Sourdough Lactobacilli and Celiac Disease. *3rd International Symposium Sourdough, Bari*.

Thiele C, S Grassl & M Ganzle (2004) Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. *J Agric Food Chem* **52**, 1307-1314.

Liljeberg HG & IM Bjorck (1996) Delayed gastric emptying rate as a potential mechanism for lowered glycemia after eating sourdough bread: studies in humans and rats using test products with added organic acids or an organic salt. *Am J Clin Nutr* **64**, 886-893.

Tableau 1 : Composition des farines selon leurs types

<b>TYPES (/100g farine)</b>	T 55	T 65	T80 avec remoulages	T80 avec semoules	T 150
<b>Protéines (g)</b>	11.5	11.6	11.8	12	12.1
<b>Glucides (g)</b>	71	70	69	69	61
<b>Fibres (g)</b>	3.2	3.5	4.8	4.7	11.5
Potassium (mg)	140	150	183	184	380
Phosphore (mg)	120	130	175	176	320
Magnésium (mg)	28	30	50	50	105
Calcium (mg)	15	16	18	23	35
Fer (mg)	1.2	1.4	1.8	2.0	3.9
Zinc (mg)	0.9	1.1	1.6	1.4	2.9
Vitamine E (mg)	0.34	0.40	0.615		2.1
Vitamine B1 (mg)	0.11	0.12	0.26		0.47
Vitamine B2 (mg)	0.05	0.05	0.06		0.17
Vitamine B6 (mg)	0.10	0.13	0.24		0.46
Folates (µg)	16	16	22		50

**Tableau 2.** Composition des pains selon différents modes d'obtention de farines type 80

pour 100g de MS	Pain T65	Pain T80 remoulages	Pain T80 semoules	Pain T80 far. meule	Pain T80 25% far. Complète
Protéines (g)	11.8	11.7	11.8	11.3	11.5
Fibres (g)	2.1	5.85	5.4	5.5	5.4
Potassium (mg)	177	227	230	220	210
Magnésium (mg)	33	51	50	61	57
Calcium (mg)	26	30	31	29	30
Zinc (mg)	0.7	1.3	1.1	1.4	1.1
Vitamine B1(mg)	0.14	0.28	0.16	-	0.21
Vitamine B6 (mg)	0.05	0.1	0.08	-	0.08
Vitamine E (mg)	0.01	0.18	0.16	0.24	0.09

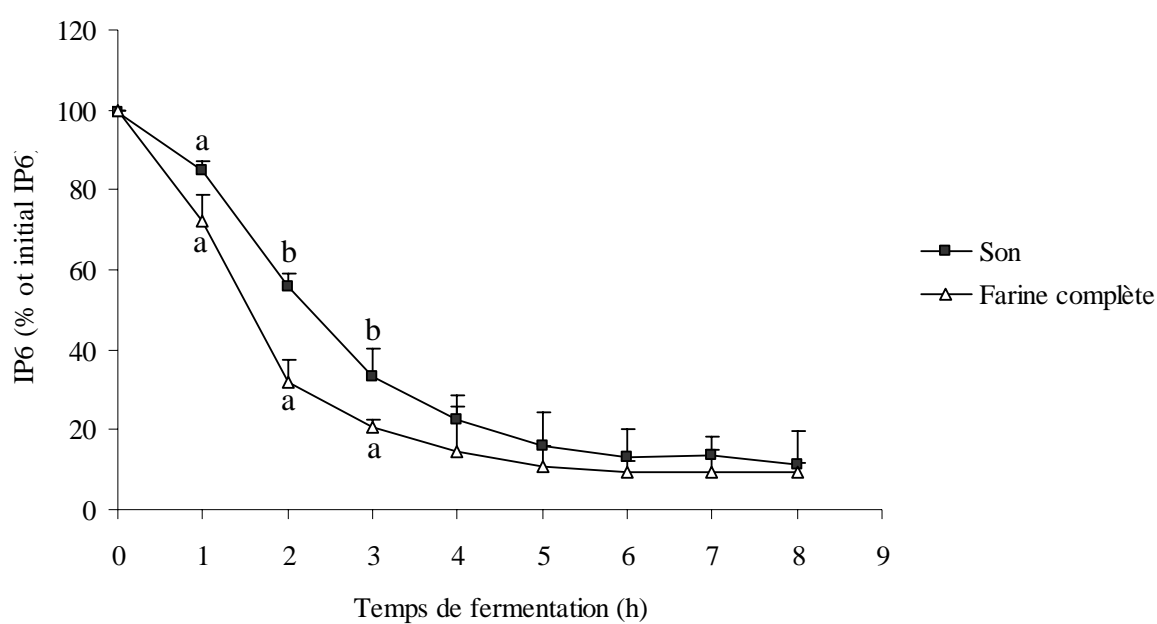


Figure 1. Dégradation de l'acide phytique par la fermentation au levain en milieu très hydraté d'une farine complète et du son.