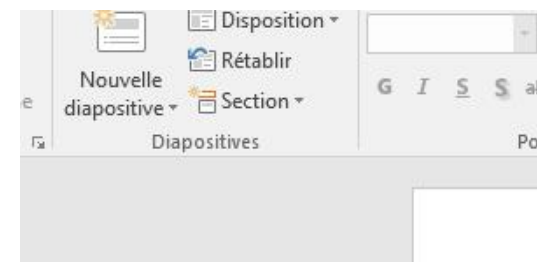


Augmentation du potentiel santé des graines par la prégermination et intérêt du « *minimal processing* »

Anthony FARDET

Chercheur en Alimentation Préventive & Holistique
Unité de Nutrition Humaine - INRA de Clermont-Ferrand



Présentation principalement basée sur la revue de Lemmens *et al.* :



Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review

Elien Lemmens , Alice V. Moroni, Jennifer Pagand, Pieter Heirbaut, Anneli Ritala, Yann Karlen, Kim-Anne Lê, Hetty C. Van den Broeck, Fred J.P.H. Brouns, Niels De Brier, and Jan A. Delcour

Lemmens, E., et al., Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018.



INTRODUCTION

Définition



« Le grain germé désigne généralement une graine avec un radicule visible »

« À ce jour, il n'existe pas de définition et de réglementation mondialement reconnues de la « germination » (quel est le processus sous-jacent ? Quels sont les critères d'un « grain entier germé » ?). L'absence de définition et de réglementation appropriées indique qu'il n'y a pas non plus de « base » permettant :

- 1) d'utiliser le contenu de « grain germé »
- 2) de revendiquer des allégations

(Lemmens *et al.*, 2018)

Perceptions par le consommateur



« L'attitude positive croissante des consommateurs à l'égard de ces produits a été liée aux attentes de « naturel », « meilleur goût », « plus nutritif » et « plus sain » »

« Les grains germés ont été associés au bio, au véganisme, aux céréales complètes/entières et sans organismes génétiquement modifiés »

« Ces connotations positives sont, dans certains pays ou territoires, combinées à une allégation de « contenu en grains entiers »

Mattucci, S. (2015). Sprouted grains add nutrition and new flavors to products. Retrieved from <http://www.mintel.com>



Un peu de géographie



« La plupart des lancements de produits « céréales germées » ont eu lieu en Europe et en Amérique du Nord, principalement des produits de boulangerie et, en Amérique du Nord, des snacks »

« Dans la région Asie-Pacifique, la plupart des lancements de produits contenant des graines germées sont des produits prêts à boire.

« Le quinoa (pseudocéréale) et le blé sont les grains germés les plus utilisés »

« Le sarrasin germé (pseudocéréale), l'orge et le mil ont été utilisés, mais beaucoup moins souvent »

Mattucci, S. (2015). Sprouted grains add nutrition and new flavors to products. Retrieved from <http://www.mintel.com>



1. Définition et statut réglementaire de la germination

Définitions



D'un point de vue physiologique, la germination d'une graine commence avec l'absorption d'eau et se termine avec l'apparition de la radicule (**Nonogaki et al., 2010**)

Le processus de germination est à la base de la production de grains germés, de pousses, ainsi que de malt

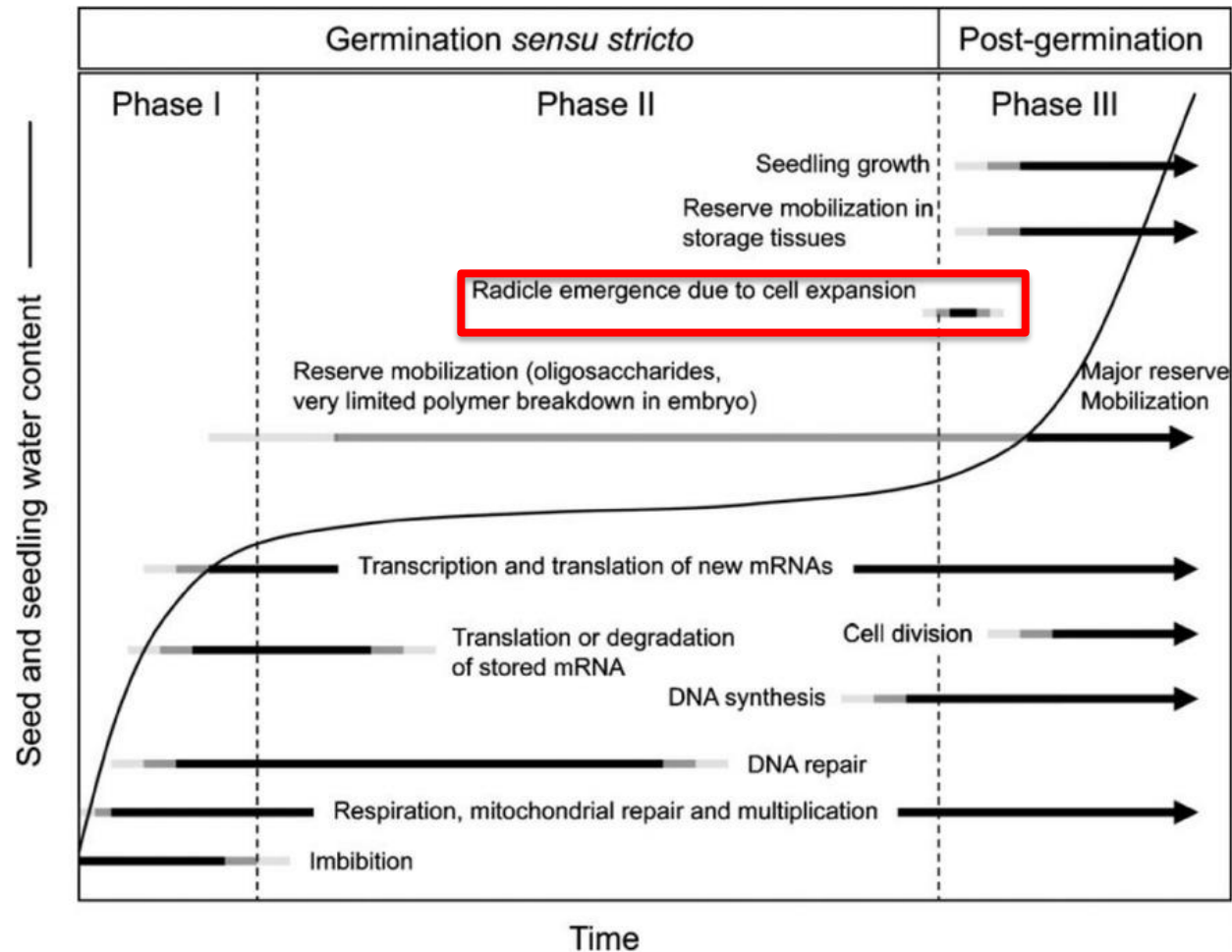
- Selon le **Codex Alimentarius (1978, annexe IV)**, « *un grain germé est un grain dont le processus de germination est visible dans l'embryon* »

- Le règlement de l'Union européenne (UE) définit les grains germés « *comme des grains dans lesquels l'embryon a subi des modifications clairement visibles* (**UE 1272/2009**) » :

Cependant, ils ne précisent pas quelles modifications devraient être visibles dans l'embryon pour le qualifier de « germé » et « ***on peut seulement supposer que ces définitions maintiennent que « un grain qui a été germé » montre son radicule*** » (**Lemmens et al., 2018**)



Les événements physiques et métaboliques complexes au cours de la germination peuvent être regroupés en 3 phases principalement liées à l'absorption d'eau par la graine (**Nonogaki et al., 2010**) :



8-10 jours pour le blé

2. Changements biochimiques et physico- chimiques suite à la germination

Impact sur la teneur en amidon et sa digestibilité

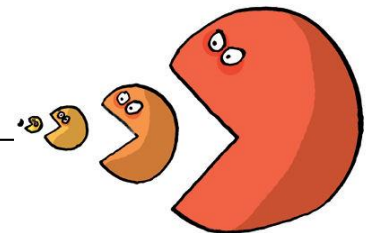


La germination initie la synthèse *de novo* d'enzymes dégradant l'amidon, telles que l' α -amylase et l' α -glucosidase, dans les cellules du scutellum et de l'aleurone (Ayernor & Ocloo, 2007; Duke, 2009; Saman et al., 2008; Xu et al., 2012)

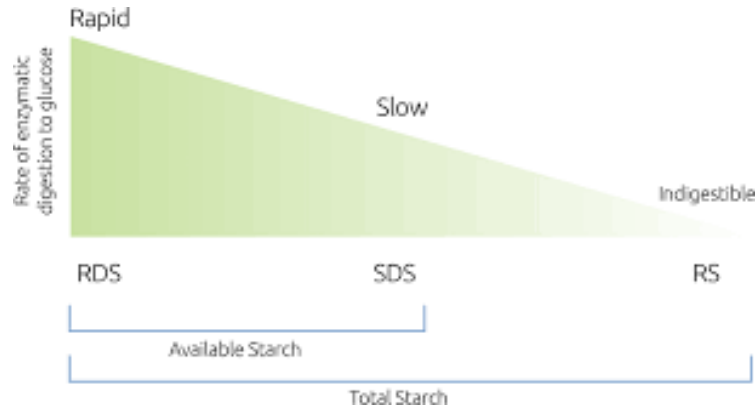
Les actions enzymatiques conduisent finalement à l'hydrolyse partielle de l'amidon en glucose, maltose et maltotriose et à une large gamme de dextrines (Ayernor & Ocloo, 2007; Saman et al., 2008), augmentant ainsi la teneur en sucre (Agu & Palmer, 1997; Ayernor et Ocloo, 2007; Coulibaly et Chen, 2011; Duke, 2008; Xu et al., 2012)

Les sucres formés lors de la germination des céréales constituent une source d'énergie pour l'embryon en développement

La teneur totale en amidon diminue de 5% à 15%



Impact sur la teneur en amidon et sa digestibilité



La germination augmente la proportion d'amidon lentement digestible (SDS) (Xu et al., 2012) : ↑ de la proportion relative des régions cristallines de l'amidon

You, S.-Y., et al., *Impact of germination on the structures and in vitro digestibility of starch from waxy brown rice*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016. 82: p. 863-870.

Table 4

The amount of starch nutritional fractions (RDS, SDS and RS) of germinated brown rice starch (GBRS) and treated GBRS.^A

Rice starch	Ungelatinized starch			Gelatinized starch		
	RDS (%)	SDS (%)	RS (%)	RDS (%)	SDS (%)	RS (%)
BRS	50.5 ± 2.4 ^c	42.4 ± 2.8 ^a	7.1 ± 1.2 ^a	88.6 ± 2.0 ^b	4.1 ± 0.6 ^b	7.3 ± 1.6 ^a
GBRS	69.0 ± 0.7 ^a	27.9 ± 0.4 ^c	3.1 ± 0.3 ^b	91.6 ± 1.4 ^a	8.0 ± 1.4 ^a	0.4 ± 0.1 ^c
GBRS-U	51.7 ± 1.0 ^{bc}	39.6 ± 0.5 ^{ab}	8.7 ± 0.5 ^a	88.3 ± 0.3 ^b	8.6 ± 0.4 ^a	3.1 ± 0.3 ^b
GBRS-H	53.8 ± 1.1 ^b	38.0 ± 2.5 ^b	8.2 ± 1.7 ^a	85.0 ± 0.3 ^c	8.8 ± 0.4 ^a	6.2 ± 0.5 ^a

BRS, Brown rice starch; GBRS, germinated brown rice starch; GBRS-U, GBR ultrasonicated at 60 °C for 30 min; GBRS-H, GBR heat-moisture treated at 120 °C for 2 h; RDS, rapidly digestible starch; SDS, slowly digestible starch; RS, resistant starch.

^A Values followed by the different superscripts in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

Augmentation de la digestibilité : dégradation de la chaîne d'amidon par les enzymes amylolytiques, ce qui rend les chaînes facilement digestibles

Impact sur la teneur en amidon et sa digestibilité



De nombreuses études ont montré que la digestibilité de l'amidon augmente à la suite de la germination :

1) Cela a été principalement attribué à la dégradation d'anti-nutriments tels que les inhibiteurs d'amylase, l'acide phytique et les polyphénols qui inhibent l'action de l' α -amylase

2) Les céréales germées sont généralement mieux digestibles en raison de leurs granules d'amidon endommagés par voie enzymatique, de leurs parois cellulaires plus minces et de leur teneur plus élevée en sucres facilement disponibles (Yan et al., 2010)

Ce qui les rend particulièrement adaptés à la production d'aliments pour nourrissons et personnes âgées (Correia et al., 2008 ; Srivastava et al., 2015 ; Tizazu et al., 2010)

Impact sur la teneur en protéines et sa digestibilité

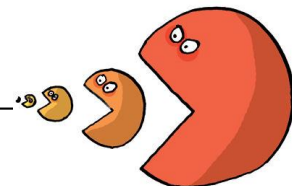


Céréales : 8-16% de protéines

Les céréales ont une faible activité endogène de la (endo)peptidase, qui augmente considérablement après un jour de germination (**Elmoneim et al., 2010 ; Faltermaier et al., 2015 ; Kolodziejczyk et Michniewicz, 2004**)

La germination n'a pas d'incidence importante sur la teneur en protéines totales (**Caceres et al., 2014 ; Chung et al., 1989 ; Kaur et al., 2002 ; Ogbonna et al., 2012 ; Swieca et Dziki, 2015 ; Van Hung et al., 2011 ; Vis et Lorenz, 1998 ; Xu et al., 2012**)

La protéolyse est plus prononcée après des périodes de germination plus longues (minimum 2 jours) et à des températures plus élevées (20 à 28°C) (**Agu & Palmer, 1997 ; Caceres et al., 2014 ; Koehler et al., 2007**)



Impact sur la teneur en protéines et sa digestibilité



La solubilité et la digestibilité des protéines sont plus élevées : jusqu'à +65-80% pour orge et sorgho (mais possibilité de formation de complexes insolubles polyphénols libres-protéines)
(Afify et al., 2012 ; Chung et al., 1989)

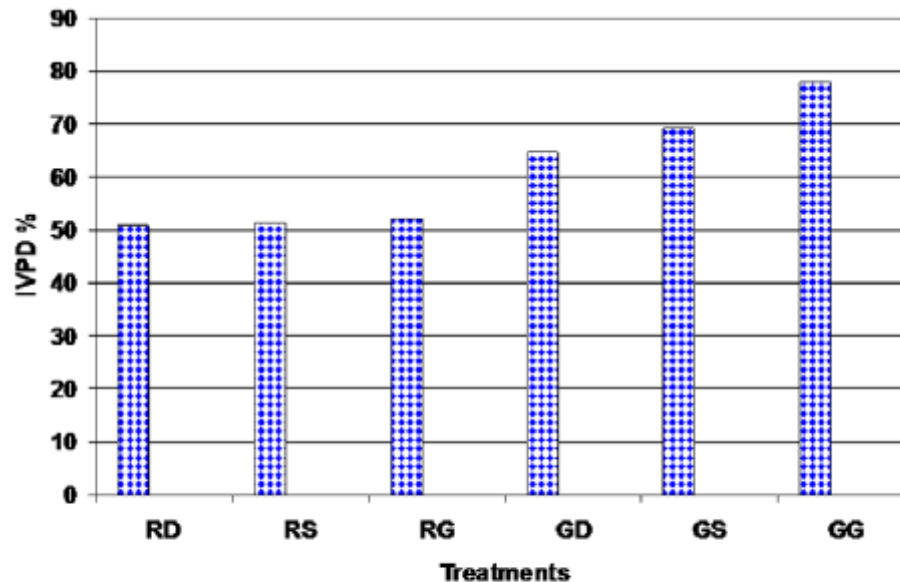


Figure 2. *In vitro* protein digestibility (IVPD%) of sorghum after germination. Treatments: (RD: Raw Dorado; RS: Raw Shandweel-6; RG: Raw Giza-15; GD: Germinated Dorado; GS: Germinated Shandaweel-6; GG: Germinated Giza-15).

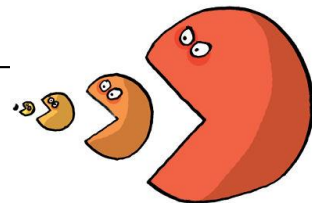
Impact sur la teneur en lipides



Une augmentation de 1,2 à 2,3 fois des niveaux d'activité des lipases et des lipoxygénases se produit lors de la germination des grains de céréales en raison de leur synthèse *de novo* dans l'aleurone et/ou le scutellum (**Kubicka et al., 2011 ; Makinen et al., 2012 ; Uvere & Orji, 2002**)

Une diminution de 8 à 15% du contenu en lipides se produit chez le mil qui a germé pendant 3 jours à température ambiante (**Suma & Urooj, 2014**), chez l'orge germé pendant 5 jours à 22°C (**Chung et al., 1989**) et dans l'avoine germée pendant 6 jours à 16°C (**Peterson, 1998**). **L'augmentation des températures de germination conduit à une dégradation plus importante des lipides**

La lipase catalyse la dégradation des triglycérides en glycérol et en acides gras libres (**Kubicka et al., 2011 ; Peterson, 1998**). Le glycérol et les acides gras libres sont principalement convertis en saccharose, qui est envoyé au scutellum pour être utilisé par les radicules et les pousses (**Bewley & Black, 1994**)



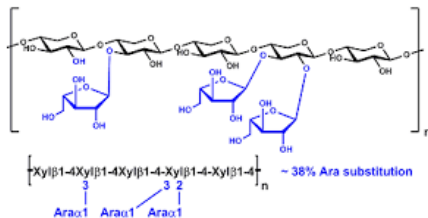
Impact de la germination sur la matrice et les propriétés des fibres alimentaires (arabinoxylanes & β -glucanes)



La germination induit des modifications de la composition et du contenu des fibres alimentaires insolubles et solubles (**Hübner et al., 2010 ; Krahl et al., 2010 ; Mohan et al., 2010 ; Teixeira et al., 2016**)

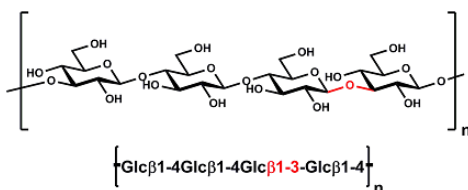
La teneur en fibres alimentaires solubles augmente de 3 à 4 fois à la suite de la germination, tandis que la teneur en fibres alimentaires insolubles diminue, en particulier lorsque les temps de germination sont longs (5 à 7 jours) (**Koehler et al., 2007**)

Arabinoxylanes : blé, seigle



Le contenu total en AX ne change pas (**De Backer et al., 2010 ; Krahl et al., 2010 ; Teixeira et al., 2016**) ou ne diminue que légèrement (**Li et al., 2005**) au cours du processus de germination.

β -glucanes : orge, avoine, sorgho, millet



2003 : allégation FDA/risque réduit de MCV (avoine) ; 2011 : allégation EFSA/réduction glycémie

Germination : dégrade les β -glucanes en oligosaccharides $\rightarrow$ limiter l'action de la β -glucanase

Impact de la germination sur la teneur en phytate, la redistribution et la bioaccessibilité des minéraux



La plupart de l'acide phytique est chélaté par des cations (divalents), tels que ceux de fer (Fe), de zinc (Zn), de calcium (Ca), de manganèse (Mn), de magnésium (Mg) et de cuivre (Cu), pour donner des phytates (Schlemmer et al., 2009)

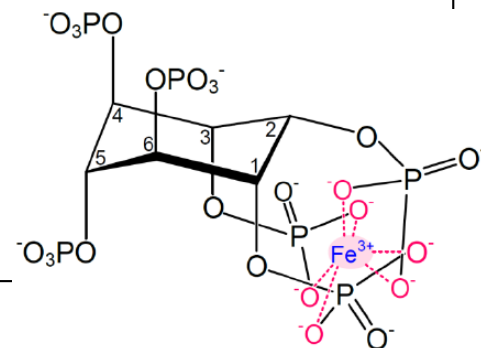
Ils sont mal digérés et absorbés car les humains ne possèdent pas de phytase (Iqbal et al., 1994 ; Sandberg et Andersson, 1988)

Au cours de la germination, les phytases sont activées, synthétisées *de novo* et sécrétées afin de rendre les phosphates, les éléments minéraux et le *myo*-inositol disponibles pour la croissance et le développement des plantes (Miransari & Smith, 2014 ; Platel et al., 2010 ; Raboy 2003)

Les minéraux sont transférés vers l'embryon en développement, ce qui entraîne la perte de minéraux lorsque les radicelles et les acrospires en développement sont supprimés (Bashir et al., 2010 ; Hübner et al., 2010 ; Ozturk et al., 2006 ; Takahashi et al., 2009)

Dégradation des phytates (Lemmens et al., 2018) : selon T°, durée, trempage

- Sorgho : 4-85%
- Millet : 13-91%
- Orge : 3-58%
- Blé : 6-23%
- Riz brun : 9-80%
- Seigle : 11-84%
- Avoine : 6-69%



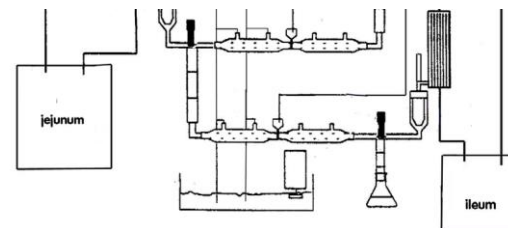
Impact de la germination sur la teneur en phytate, la redistribution et la bio-accessibilité des minéraux



Une diminution de la teneur en phytate entraîne une augmentation significative de la bio-accessibilité des minéraux (Lemmens et al., 2018)

Une diminution de 15% de la teneur en phytate dans le blé à la suite de la germination entraîne une augmentation de la bio-accessibilité du Fe et du Zn, respectivement de 4,6% à 14,1% et de 2,5% à 14,6% (Lemmens et al., 2018)

Une diminution de 30% de la teneur en phytate du sorgho à la suite de la germination a permis d'augmenter les bio-accessibilités au Fe et au Zn de 10% à 20% et de 8% à 15% (selon les variétés), respectivement (Afify et al., 2011)



La germination contrôlée dans des conditions optimales pour une action de la phytase ouvre la voie à l'amélioration potentielle de la bio-accessibilité des minéraux *in vitro*

Pour limiter les pertes de minéraux, il est conseillé d'utiliser des températures de trempes modérées (15 à 20°C) et de conserver les pousses et les racines

Impact de la germination sur la teneur en vitamines



La teneur en vitamines des céréales est importante pour le développement des plantules (**Hucker et al., 2012**) et **augmente pendant la germination à la suite de la biosynthèse**

Les différences entre les teneurs en vitamines des grains germés dépendent du type de grain et des conditions de trempage et de germination

Attention ! :



- 1) Des précautions doivent être prises pour éviter un lessivage excessif de vitamines pendant le trempage en utilisant une quantité minimale d'eau
- 2) Contrôler la procédure de séchage peut éviter leur dégradation thermique (**Ariahu et Ogunsua, 2000 ; Hucker et al., 2012 ; Moongngarm et Saetung, 2010 ; Vercauteren, 2014 ; Watanabe et al., 2004**)
- 3) Les vitamines synthétisées s'accumulent principalement dans les radicules et leur suppression après le processus s'accompagne donc d'une perte substantielle en vitamines (**Haraldsson et al., 2004 ; Hucker et al., 2012 ; Kariluoto et al., 2006 ; Malleshi & al., 2006 ; Klopfenstein, 1998**)

Impact de la germination sur la teneur en vitamines



La teneur en vitamine B dans les céréales augmente généralement à la suite de la germination et favorise le développement et la croissance des plantules

La germination stimule la synthèse *de novo* des folates en raison de la demande accrue de groupes méthyle à mesure que les activités métaboliques des plants en développement augmentent (**Jabrin et al., 2003 ; Jägerstad et al., 2005 ; Kariluoto et al., 2006**)

Une fois consommés, les niveaux relativement élevés de vitamines B (E et C aussi) dans les céréales germées peuvent contribuer de manière significative à l'apport quotidien en ces vitamines (Lemmens et al., 2018) :

- Les adultes peuvent atteindre la valeur ANC du folate en consommant quotidiennement 100 à 150 g de grains de blé ou de seigle germés.
- Les céréales germées contribuent moins à l'apport quotidien en niacine (B3), riboflavine (B5), pyridoxal (B6) et vitamine E que le folate, mais leur apport reste important



Des temps de trempage courts, avec une quantité d'eau limitée, suivis de longs temps de germination, d'un séchage doux et de la conservation des radicules et des acrospires sont les plus favorables pour obtenir une teneur élevée en vitamines dans les grains germés

Impact de la germination sur la capacité antioxydante



La germination augmente l'activité antioxydante des céréales

L'activité antioxydante plus élevée dans les graines germées est principalement attribuée aux accumulations de vitamine E et de polyphénols (**Ahmad et al., 2016 ; Kim et al., 2013**)

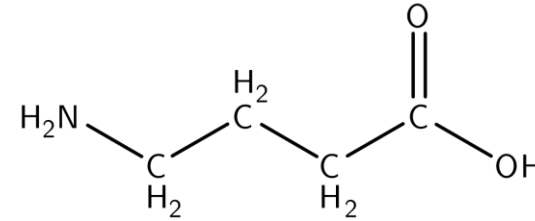
Les composés phénoliques libres sont des antioxydants plus efficaces que leurs homologues liés (**Ti et al., 2014**)

Les acides phénoliques sont biosynthétisés pendant la germination et les enzymes de dégradation de la paroi cellulaire synthétisées, telles que les cellulases et les endoxylanases en combinaison avec les cinnamoyl estérases et les féruloyl estérases, peuvent hydrolyser les composés phénoliques liés aux parois cellulaires. Cela augmente les niveaux de composés phénoliques libres, principalement l'acide férulique, et donc la capacité antioxydante (**Benincasa et al., 2014 ; Cáceres et al., 2014 ; Cornejo et al., 2015 ; Katina et al., 2007 ; Kim et al., 2013 ; Lu et al., 2007 ; Pal et al., 2016 ; Ti et al., 2014 ; Xu et al., 2009**)



L'augmentation de la capacité antioxydante est considérée comme importante pour la protection du grain en germination. Cependant, il est discutable de lier cette augmentation à des avantages possibles pour la santé humaine (**Bast et Haenen, 2013 ; Pompella et al., 2014**)

Impact de la germination sur la teneur en acide γ -aminobutyrique (GABA)



L'acide γ -aminobutyrique, un acide aminé non protéique important, joue le rôle de neurotransmetteur inhibiteur prédominant dans le système nerveux central (Charoenthaikij et al., 2010 ; Kinnersley et Turano, 2000), efficace pour réduire la pression artérielle (Hayakawa et al., 2004 ; Inoue et al., 2003) et dans le traitement de l'épilepsie (Treiman, 2001)

La concentration de GABA dans l'orge et le blé est inférieure à 2 mg/100 g de MS (Ohm et al., 2016), tandis que dans le riz brun elle varie entre 3 et 7 mg/100 g de MS (Banchuen et al., 2009 ; Charoenthaikij et al., 2010 ; Chen et al., 2016)

Il est présent à des concentrations plus élevées dans l'orge et le blé germés (7 à 25 mg/100 g) (Chung et al., 2009 ; Ohm et al., 2016), et surtout dans le riz brun germé (35 à 80 mg/100 g de MS) (Banchuen et al., 2009 ; Chungcharoen et al., 2015 ; Cornejo et coll., 2015 ; Ohm et al., 2016 ; Ohtsubo et al., 2005 ; Roohinejad et al., 2011 ; Thitinunsomboon et al., 2013)

Des températures de germination relativement élevées sont nécessaires pour stimuler la synthèse de GABA

Les conditions acides pendant le trempage peuvent également potentialiser la synthèse de GABA

3. Avantages pour la santé des grains germés

Remarques préliminaires

(Lemmens et al., 2018)



- La plupart des articles fournissent une description détaillée des changements biochimiques résultant de la germination. En ce qui concerne les avantages potentiels pour la santé, l'effet direct de tels changements sur les marqueurs de santé *in vivo* n'a été que rarement mesuré
- Dans de nombreuses études, les types de grains utilisés et les traitements de germination sont variés ; et parfois les conditions technologiques ne sont pas complètement détaillées

En conséquence, il est actuellement impossible de tirer des conclusions cohérentes sur l'impact de la consommation de céréales germées sur la santé humaine et sur les mécanismes de régulation qui la sous-tendent

- **La plupart de ces études ont été réalisées sur des rongeurs, alors que quelques-unes seulement sur des humains.** Les principaux grains utilisés étaient le riz (six chez les rongeurs et un chez l'homme) et l'orge (trois chez les rongeurs et un chez l'homme). À notre connaissance, le blé, le mil et l'avoine ont été utilisés dans une seule étude (humaine)
- De plus, l'échantillon de référence utilisé n'était pas toujours un homologue non germé, ce qui rend difficile la comparaison entre les graines germées et les grains normaux (**Hagiwara et al., 2004; Trachoo et al., 2006**)

Métabolisme lipidique



L'effet du riz brun germé sur les profils lipidiques plasmatiques (hypercholestérolémie et à une hypertension artérielle, elles-mêmes liées aux maladies cardiovasculaires) a fait l'objet de nombreuses études

Wu et al. (2013) ont compilé 5 études suggérant que le riz brun germé pourrait avoir un effet plus important sur la réduction du cholestérol *in vivo* sanguin et de la tension artérielle que le riz brun non germé

Mis à part les travaux sur le riz, seuls les effets sur les profils lipidiques de l'orge et du blé germés ont été étudiés:

- 1) **Jackson et al. (1994)** : aucune différence significative entre l'effet de l'orge et de l'orge maltée sur les lipides sériques de rats nourris avec un régime alimentaire pauvre ou riche en cholestérol
- 2) **Nelson et al. (2016)** : 10 personnes en surpoids ou obèses ont reçu des céréales pour petit-déjeuner à base de blé entier ou de blé germé :
 - Une réduction significative similaire de la pression artérielle a été observée pour les deux interventions
 - Le taux de cholestérol LDL était modifié de manière similaire par les deux interventions, alors que le taux de cholestérol total et de cholestérol HDL (lipoprotéines de haute densité) restait inchangé

			CON : control		MLT : malted	
Biomarker			Pre (0-week)	Post (4-week)	P-value ^b	
					Time (pre:post)	Cereal (CON:MLT)
BMI (kg/m ²)	(n = 10)	CON	31.00 ± 1.02	31.01 ± 1.03	0.725	0.083
		MLT	30.77 ± 0.99	30.82 ± 0.98		
Waist:Hip	(n = 10)	CON	0.833 ± 0.08	0.902 ± 0.026	0.488	0.328
		MLT	0.915 ± 0.02	0.910 ± 0.22		
Systolic BP (mm Hg)	(n = 10)	CON	132.10 ± 5.96	127.90 ± 5.80	0.125	0.360
		MLT	133.30 ± 5.10	130.90 ± 4.98		
Diastolic BP (mm Hg)	(n = 10)	CON	82.60 ± 4.14	81.60 ± 3.61	0.021*	0.875
		MLT	84.10 ± 3.52	80.50 ± 3.46		
Total Cholesterol (mmol/L)	(n = 9)	CON	5.36 ± 0.49	5.60 ± 0.45	0.167	0.679
		MLT	5.49 ± 0.41	5.59 ± 0.36		
HDL-Chol (mol/L)	(n = 9)	CON	1.22 ± 0.14	1.252 ± 0.19	0.745	0.508
		MLT	1.27 ± 0.14	1.25 ± 0.14		
LDL-Chol (mmol/L)	(n = 8)	CON	3.12 ± 0.42	3.46 ± 0.44	0.046*	0.668
		MLT	3.27 ± 0.29	3.43 ± 0.38		
Triglycerides (mmol/L)	(n = 9)	CON	1.99 ± 0.47	1.68 ± 0.32	0.510	0.793
		MLT	1.73 ± 0.34	1.86 ± 0.37		
2-h glucose (AUC-g)	(n = 10)	CON	813.30 ± 43.65	797.10 ± 41.55	0.596	0.550
		MLT	778.05 ± 36.15	809.55 ± 40.71		
Fasting Glucose (mmol/L)	(n = 7)	CON	5.24 ± 0.20	5.15 ± 0.18	0.454	0.314
		MLT	5.27 ± 0.20	5.24 ± 0.17		
Fasting Insulin (mIU/L)	(n = 9)	CON	15.41 ± 2.32	12.99 ± 1.68	0.204	0.711
		MLT	13.94 ± 1.70	15.06 ± 1.87		
HOMA-IR	(n = 7)	CON	3.82 ± 0.81	3.08 ± 0.55	0.210	0.618
		MLT	3.22 ± 0.58	3.48 ± 0.52		
TAC (mM/L)	(n = 9)	CON	0.87 ± 0.07	0.64 ± 0.12	0.236	0.732
		MLT	0.78 ± 0.09	0.78 ± 0.80		
hs-CRP (mg/L)	(n = 8)	CON	3.51 ± 1.74	3.06 ± 2.05	0.504	0.212
		MLT	2.29 ± 1.26	2.40 ± 1.16		
TBARS (mM/L)	(n = 9)	CON	13.73 ± 0.95	14.49 ± 1.58	0.328	0.873
		MLT	13.30 ± 0.96	14.54 ± 1.44		

Nelson, K., et al., Effects of malted and non-malted whole-grain wheat on metabolic and inflammatory biomarkers in overweight/obese adults: A randomised crossover pilot study. Food Chemistry, 2016. 194: p. 495-502.

Métabolisme glucidique



Très peu d'études sont disponibles sur l'effet de la consommation de grains germés sur le métabolisme du glucose et le diabète de type II. **La plupart d'entre elles se sont concentrées sur le riz germé et les rongeurs**

« Les résultats obtenus dans ces études confirment que le riz à grains entiers peut avoir un effet hypoglycémique, mais ils ne permettent pas de tirer des conclusions sur le mécanisme à l'origine de cet effet, ni ne démontrent l'avantage supplémentaire de faire germer le grain entier pour gérer le métabolisme du glucose » (Lemmens et al., 2018)

Il apparaît donc qu'il est impossible de prétendre aux avantages des grains germés par rapport à ceux des grains entiers

13 sujets jeunes sains

Métabolisme g

Très peu d'études sont disponibles sur le métabolisme du glucose et le diabète de type II. La plupart d'entre elles se sont concentrées sur le riz germé et les rongeurs usés

Les résultats obtenus dans ces études confirment que le riz à grains entiers peut avoir un effet hypoglycémique, mais ils ne permettent pas de tirer des conclusions sur le mécanisme à l'origine de cet effet, ni ne démontrent l'avantage supplémentaire de faire germer le grain entier pour gérer le métabolisme du glucose

Il apparaît donc qu'il est impos

Riz blanc, riz brun et riz pré-germé

Métabolisme g

Très peu d'études sont disponibles sur le métabolisme du glucose et le diabète de type II. La plupart d'entre elles se sont concentrées sur le riz germé et les rongeurs usés

Riz blanc, riz blanc + 1/3 ou 2/3 riz pré-germé et riz pré-germé

Métabolisme g

Très peu d'études sont disponibles sur le métabolisme du glucose et le diabète de type II. La plupart d'entre elles se sont concentrées sur le riz germé et les rongeurs usés

Absorption minérale



Larsson, M., et al., Improved zinc and iron absorption from breakfast meals containing malted oats with reduced phytate content. *British Journal of Nutrition*, 1996. 76(5): p. 677-688.

Table 3. Content of inositol phosphates ($\mu\text{mol/g}$) in breakfast meals containing different oat porridge preparations*

(Mean values with two values from duplicate determinations shown in parentheses)

Samples	IP-3 Mean	IP-4 Mean	IP-5 Mean	IP-6 Mean	Sum of IP-3-IP-6 (μmol /portion)
Expt 1 Control porridge	—	—	0.6 (0.62, 0.57)	16.2 (16.44, 15.96)	448
Test porridge	1.0 (0.97, 1.02)	1.6 (1.72, 1.47)	1.4 (1.48, 1.32)	3.7 (4.47, 2.93)	222

10 sujets adultes sains
↑ 10 jours

Table 1. Expt 1. Zinc absorption from oat porridge by healthy human subjects

(Mean values and standard deviations)

Meal	n	Zn content		Zn absorption (%)		Absorption ratio test:control		Inositol hexaphosphate ($\mu\text{mol/portion}$)
		mg/kg	$\mu\text{mol/portion}$	Mean	SD	Mean	SD	
Control	10	35.6	14.5	11.8 ^a	2.96	1.63	0.75	432
Test	10	30.8	13.6	18.3 ^b	8.12			107

En conclusion, une amélioration de l'absorption de Zn et de Fe peut être obtenue en pratiquant le maltage et le trempage de l'avoine. Cela peut être important dans la prévention de la carence en minéraux chez les groupes vulnérables

Absorption minérale



Fredlund, K., et al., Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. *European Journal Of Clinical Nutrition*, 2003. 57: p. 1507.

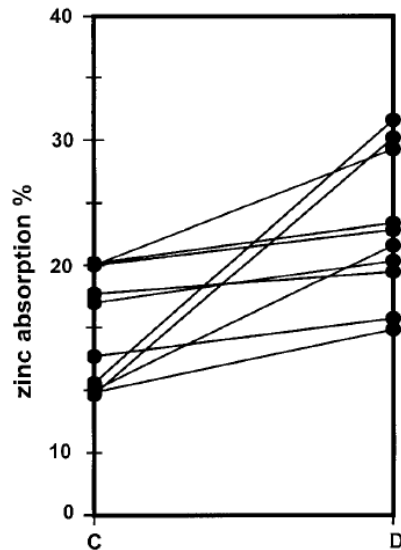


Figure 2 Zinc absorption in breakfast cereal meals C (60 g of flakes from unprocessed barley) and D (60 g from crushed, malted barley) for all 10 subjects. All subjects had improved their absorption.

10-12 sujets sains

Mesures radioactives commençant à 8 jours

L'orge a été malté par trempage dans l'eau à une température de 13 à 15°C pendant 34 heures, puis germé à une température de 15 à 17°C pendant 6 jours

Il est possible d'améliorer l'absorption du zinc au petit-déjeuner en optimisant le maltage de l'orge. L'absorption du calcium n'a pas été influencée dans cette étude

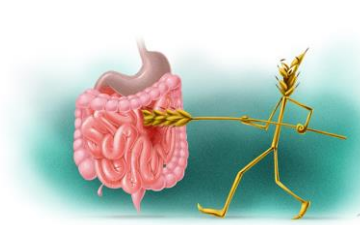
Zinc radiomarqué



« Sur la base de ces informations, une réduction de phytate résultant de la germination peut contribuer à une meilleure biodisponibilité des minéraux chez l'homme, mais, pour le moment, aucun énoncé de bénéfice pour la santé ne peut être émis » (Lemmens et al., 2018)

Maladie cœliaque

Asthme du boulanger

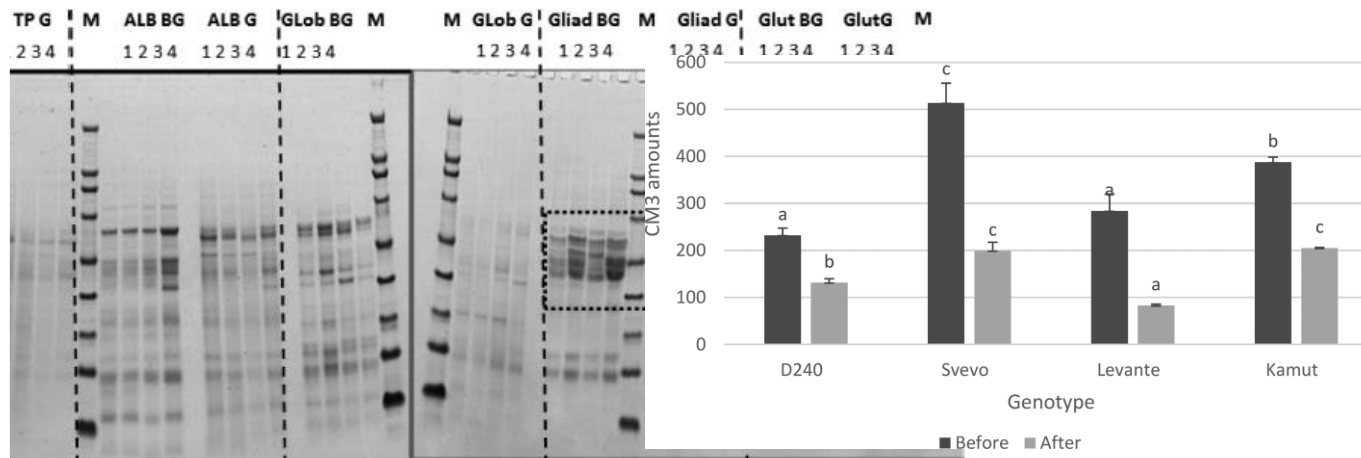


La germination a été étudiée comme un moyen de réduire l'immunogénicité du gluten. En effet, il est probable que les peptidases endogènes de céréales synthétisées lors de la germination puissent hydrolyser de manière importante le gluten, car les plantules ont besoin d'acides aminés pour se développer **(Hartmann et al., 2006)**

- Les peptides immunogènes sont fortement dégradés lorsqu'ils sont incubés pendant 2 heures à 37°C et à un pH de 6,5 avec des peptidases extraites du son de seigle germé pendant 7 jours à 15°C **(Hartmann et al., 2006)**

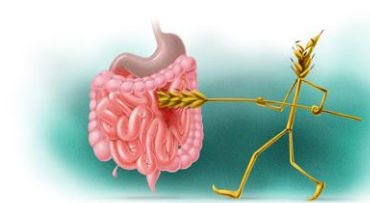
- 40% à 80% des peptides stimulant la maladie cœliaque sont hydrolysés par des peptidases endogènes d'orge et de blé germées pendant 4 à 8 jours à une température de 12 à 25°C **(Boukid et al., 2017 ; Kerpes et al., 2016)**

Il peut être difficile d'atteindre de telles durées dans une production alimentaire économiquement réaliste

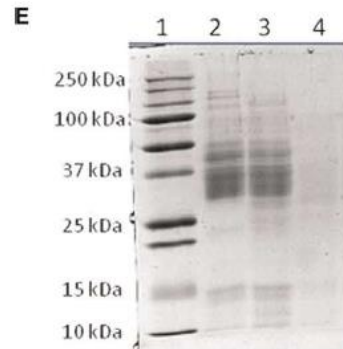


La protéine CM3,
impliquée dans
l'asthme du boulanger
et l'inflammation
intestinale

Maladie cœliaque



Lorsque les peptidases hydrosolubles de blé germé sont incubées avec un digesta de gliadines contenant des épitopes immunogènes pendant 24 heures, ces épitopes (peptides) sont dégradés de manière significative. **Bien que l'immunogénicité *in vitro* des peptides résultants ait été nettement réduite, la réactivité résiduelle était toujours présente. La seule utilisation de peptidases pour digérer la gliadine dans le blé germé n'a pas permis d'obtenir un aliment sûr pour les personnes souffrant de la maladie cœliaque (Stenman et al., 2009)**



1. Standards
2. Gliadine
3. Gliadine + enzymes (protéases) de blé germé inactivée par la chaleur
4. Gliadine + enzymes (protéases) de blé germé

Stenman, S.M., et al., Enzymatic detoxification of gluten by germinating wheat proteases: Implications for new treatment of celiac disease. Annals of Medicine, 2009. 41(5): p. 390-400.

D'autres améliorations ont été proposées (**Schwalb et al., 2012 ; Stenman et al., 2009**) et pourraient être abordées en optimisant les conditions de germination en fonction du type de céréale utilisé et du cultivar (**Scherf et al., 2018**). **Schwalb et al. (2012)** ont en effet montré que **les enzymes extraites de différentes céréales germées présentent des spécificités différentes vis-à-vis de différents peptides (Schwalb et al., 2012 ; Stenman et al., 2009)**

Cela peut être fait soit en utilisant des enzymes extraites et purifiées, soit en ajoutant des fractions de grains riches en enzymes, telles que le son, aux recettes des aliments (**Gebendorfer et al., 2011**)

Santé intestinale



La germination affecte les fibres et les autres nutriments des grains et, par conséquent, leur capacité à être fermentée par le microbiote intestinal (**Cummings & Bingham, 1987 ; Damen et al., 2011**)

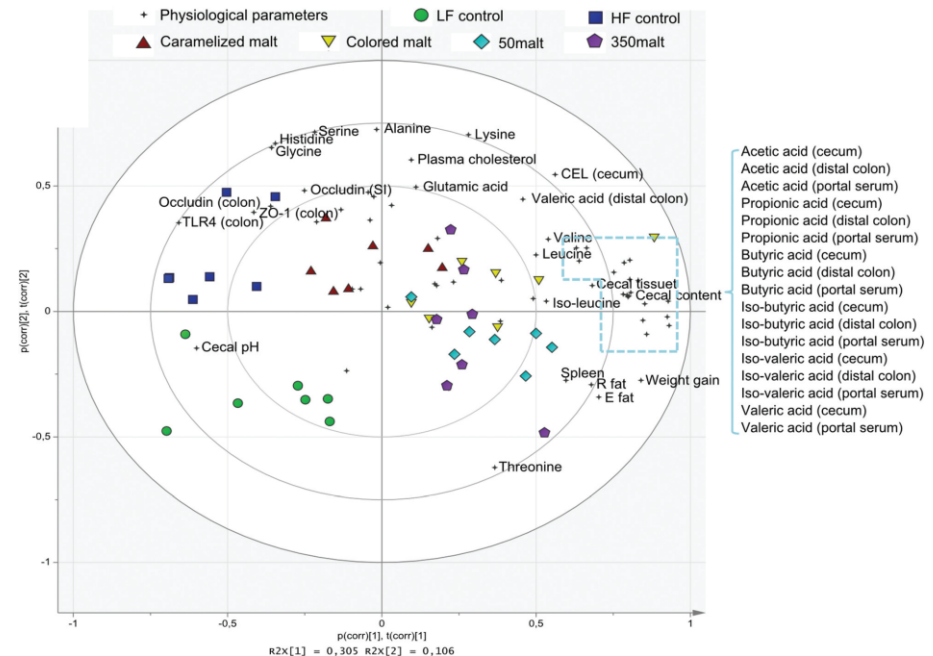
Zhong et al. (2015) : Le malt nourris chez des rats entraînait une augmentation des niveaux d'acides gras butyriques et autres acides gras à chaîne courte dans l'intestin. Cela suggère que la germination génère des molécules telles que des fructo-oligosaccharides, AXOS (arabinoxylan-oligosaccharides) et des AX et β -D-glucanes dépolymérisés, qui ont un impact positif sur le microbiote intestinal

Le même groupe, dans une seconde étude *in vivo* sur des rats, a montré que l'utilisation de malt d'orge, plutôt que de grains entiers d'orge, peut stimuler le microbiote intestinal vers des espèces microbiennes produisant plus d'acide butyrique (**Zhong et al., 2015**)



Rats
Malt d'orge
Contrôle : cellulose
microcristalline (LF, HF)

Zhong, Y., et al., Barley malt increases hindgut and portal butyric acid, modulates gene expression of gut tight junction proteins and Toll-like receptors in rats fed high-fat diets, but high advanced glycation end-products partially attenuate the effects. *Food Funct*, 2015. 6(9): p. 3165-76.



4. Intérêt du minimal processing

La germination, « *minimal processing* » ?



“La « transformation minimale » décrit les technologies non thermiques permettant de transformer les aliments de manière à garantir la sécurité et la conservation des aliments, ainsi que de préserver autant que possible les caractéristiques des fruits et des légumes frais”

Manvell, C., *Minimal processing of food. Food Science and Technology Today*, 1997. 11: p. 107–111.

« Impact limité sur les propriétés nutritionnelles et sensorielles des aliments : méthodes thermiques et non thermiques »

Ohlsson, T. and N. Bengtsson, *Minimal Processing Technologies in the Food Industries. Series in Food Science, Technology and Nutrition*. 2002: Woodhead Publishing.

La germination, « minimal processing » ?



“Les aliments minimalement transformés sont des aliments naturels altérés par des processus tels que l'élimination de parties non comestibles ou non désirées, le séchage, le broyage, le filtrage, le grillage, la pasteurisation, la réfrigération, la congélation, la mise en récipient, le conditionnement sous vide ou la fermentation. Aucun de ces processus n'ajoute à l'aliment d'origine des substances telles que le sel, le sucre, les huiles ou les graisses.”

*“L'objectif principal des processus utilisés dans la production d'aliments peu transformés est 1) **de prolonger la durée de vie des aliments non transformés**, ce qui permet de les conserver plus longtemps, tels que le refroidissement, la congélation, le séchage et la pasteurisation ; et 2) **Faciliter ou diversifier la préparation des aliments**, par exemple dans l'élimination des parties non comestibles et découpage des légumes, le broyage des graines, la torréfaction des grains de café ou des feuilles de thé et la fermentation du lait pour la fabrication de yaourt.”*

Monteiro, C., et al., The star shines bright. World Nutrition, 2016. 7(1-3): p. 28-38.

La germination, « minimal processing » ?



Procédés « traditionnels » :

Préfermentation, prégermination, pelage, découpage, broyage, conservation au froid, séchage, pasteurisation, conditionnement sous vide

Procédés « modernes » :

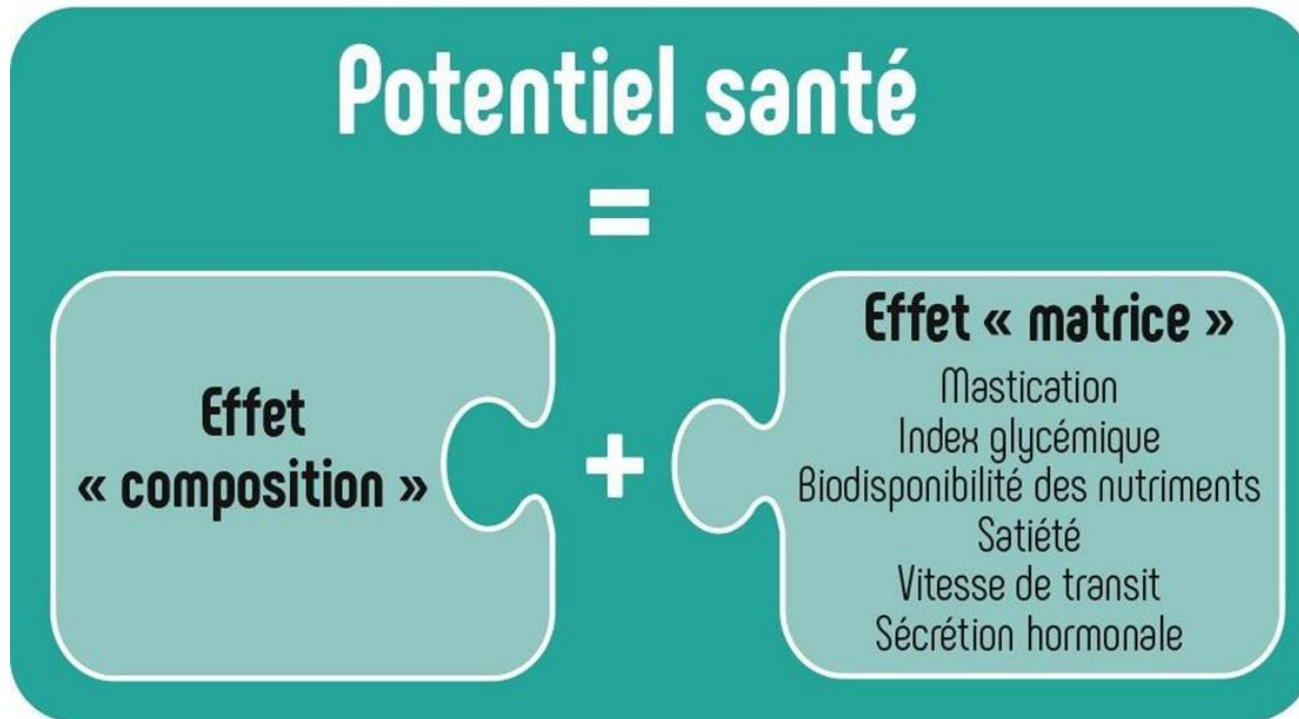
Imran P, Farhan S, Sultan MT et al. (2014) Recent developments in minimal processing: a tool to retain nutritional quality of food. Crit Rev Food Sci Nutr 54, 340-351.

Chloration, ozonation, irradiation (UV-C, γ), photosensibilisation, enrobage comestible, utilisation d'additifs naturels, traitement à haute pression, chauffage par micro-ondes, chauffage ohmique et « *hurdle technology* » (élimination ou contrôle des agents pathogènes)



L'idée est d'améliorer la conservation des aliments sans trop les « matraquer »

La germination, « minimal processing » ?



“Procédés qui altèrent le moins possible la matrice alimentaire et la densité nutritionnelle tout en permettant une conservation du produit et la sécurité sanitaire la meilleure”

Non “minimally-processed” produits céréaliers



Fractionnement, raffinage, soufflage, cuisson-extrusion...

Addition de sucres, gras et/ou sel, additifs, ingrédients purifiés...



Perte de structure

Perte de densité nutritionnelle

Augmentation de l'index glycémique



Germination



Procédés technologiques

Thermiques
(séchage, cuisson, pasteurisation,
UHT, micro-ondes...)

Mécaniques
(broyage, pelage,
écrémage, pressions...)

Fermentaires
(lactique, alcoolique...)

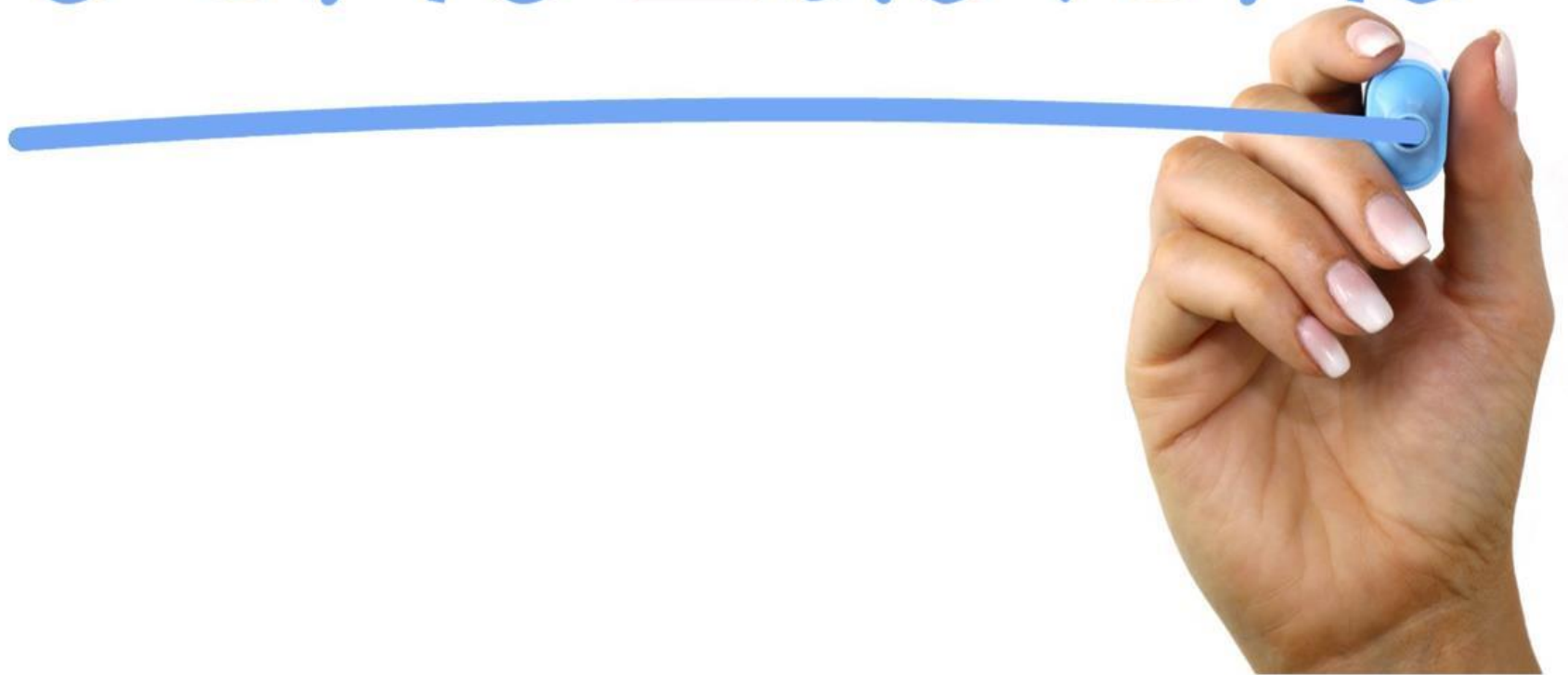
Goût/palatabilité Sécurité sanitaire
Valeur nutritionnelle Durabilité

Aliment = « Matrice » X « Composition »



Préserve la matrice
et ↑ la densité
nutritionnelle

CONCLUSIONS



“Take-home messages” & Perspectives

Définitions et densité nutritionnelle



- **Un grain entier ne peut être considéré comme germé que si son radicule est clairement visible**
- L'existence d'une définition et d'une réglementation mondialement reconnues de la « germination » faciliterait la recherche sur ce sujet et appuierait la production de produits à base de céréales germées
- Les perceptions positives de plus en plus récentes des consommateurs à l'égard des céréales germées ont donné lieu à de nouveaux lancements d'aliments et de boissons, en particulier aux États-Unis et en Europe. Ces produits ont un halo « santé positive »
- En effet, **la valeur nutritionnelle des grains de céréales augmente lors de la germination, en particulier lorsque de longues périodes de germination (3 à 5 jours) et/ou des températures de traitement élevées (25 à 35°C) sont appliquées**
- **Pendant la germination, les minéraux sont libérés des phytates et deviennent disponibles pour l'absorption intestinale, tandis que les vitamines et le GABA sont synthétisés et accumulés**
- **Perspectives : Il est essentiel d'optimiser les conditions de traitement et de choisir le type de céréales souhaité pour maximiser les propriétés nutritionnelles des grains germés**

“Take-home messages” & Perspectives

Etudes *in vivo*



- Dans la littérature (un peu comme on le fait pour le bio), les modifications (bio) chimiques survenant lors de la germination ont souvent été extrapolées aux avantages potentiels pour la santé
- Cependant, les résultats des études cliniques à l'appui d'effets bénéfiques spécifiques pour la santé sont très limités
- **Les premières études ont suggéré que les grains germés pourraient avoir un effet bénéfique sur les taux de cholestérol et de glucose dans le sang, la pression sanguine et l'absorption des minéraux**
- Cependant, de nombreux travaux ont été réalisés sur des modèles *in vitro* et animaux
- Dans les quelques études d'intervention humaine disponibles, les produits sont mal caractérisés. Il est donc difficile de tirer des conclusions définitives sur les causes et les effets
- **Des observations intéressantes découlent de recherches *in vitro* montrant que la germination peut réduire le contenu et la bio-activité des peptides stimulant la maladie cœliaque**
- Cependant, les implications de ces observations sont difficiles à interpréter, car la quantité de matière germée utilisée dans les aliments détermine l'efficacité de celui-ci en termes de réduction des facteurs de risque de maladie et d'amélioration de la tolérance
- **Perspectives : il existe un besoin clair d'essais cliniques randomisés bien conçus pour étudier l'impact de quantités de grains germés bien caractérisés sur les paramètres physiologiques et l'état de santé**

**Fin de la
présentation**



**Merci pour votre
attention**



**Vos questions
sont les
bienvenues ...**