

Utilisation des ultrasons pour caractériser les nouilles alcalines jaunes fraîches

Document basé sur l'article publié suivant : Bellido, G. G., & Hatcher, D. W. Ultrasonic characterization of fresh yellow alkaline noodles. *Food Research International* (2010), 43, 701-708.

Résumé des travaux de recherche

Des chercheurs de la Commission canadienne des grains ont utilisé des ultrasons à faible intensité pour caractériser les changements des propriétés mécaniques de nouilles alcalines jaunes fraîches préparées avec différents ingrédients (Bellido & Hatcher, 2009a). Ils ont constaté que les ultrasons pouvaient fournir des informations technologiquement pertinentes sur les propriétés rhéologiques des nouilles fraîches. L'utilisation des ultrasons est une façon simple et fiable pour déterminer certains paramètres texturaux importants des nouilles alcalines jaunes et les distinguer.

Afin de comparer les résultats des tests aux ultrasons avec ceux d'un test courant, les chercheurs ont examiné des échantillons de nouilles fraîches en utilisant des tests de relaxation des contraintes. Les résultats de ces tests ont montré que la vitesse des ultrasons augmentait et que l'atténuation diminuait ($p < 0,05$) avec une augmentation de la concentration de chlorure de sodium (1-3 %, base farine) ou l'addition de 2 % transglutamase à la composition des nouilles fraîches. Ces modifications de la composition des nouilles fraîches en ont augmenté la résistance mécanique. Cette augmentation a été constatée par des changements dans les modules mécaniques longitudinaux (modules déterminés par l'application d'ultrasons comme force de sondage extérieure).

La vitesse, l'atténuation et le module mécanique de conservation déterminés par les expériences avec les ultrasons ont été corrélés à la contrainte maximale déterminée par les tests de relaxation des contraintes effectués par les chercheurs sur des échantillons de nouilles.

Fabrication des nouilles alcalines jaunes

Les nouilles alcaline jaunes ont un rôle important dans la cuisine asiatique et ont également un poids économique important. Les diverses régions asiatiques ont des recettes individuelles et la composition des nouilles varie selon le lieu de leur fabrication. Les ingrédients des types les plus courants sont :

- la farine
- l'eau
- des sels alcalins (surtout les carbonates de sodium et de potassium ou le kansui)
- le chlorure de sodium (sel de cuisine) en quantité variable (Hatcher, 2001)

Le type et la qualité de la farine de blé utilisée déterminent comment la pâte des nouilles est traitée ainsi que la qualité de la pâte et des nouilles (Hatcher, Edwards, & Dexter, 2001; Hatcher et al., 2008b; Bellido & Hatcher, 2009b).

Ultrasons à faible intensité

Les fabricants de nouilles ont traditionnellement eu recours à des jurys de dégustation pour évaluer la texture des nouilles. Ces jurys sont des groupes d'experts qui évaluent le goût, l'odeur ou les qualités tactiles des produits. L'utilisation de tels jurys est inadéquate pour le contrôle de la qualité dans un milieu de fabrication mécanisé à grand débit de production.

Depuis plusieurs années, on a utilisé les ultrasons à faible intensité pour déterminer les caractéristiques matérielles d'un produit (Povey, 1997). Dans cette technique :

- une onde ultrasonore est transmise dans une matière;
- l'interaction de l'onde avec la matière est quantifiée quant à sa vitesse et à son atténuation.

Les chercheurs ont lié les paramètres des ultrasons aux propriétés mécaniques et à la microstructure des nouilles. Ils ont utilisé une théorie mathématique décrivant la propagation des ondes dans des aliments modélisés structurellement semblables aux nouilles (Bloksma & Bushuk). En utilisant une gamme étendue de fréquences ultrasonores, il serait possible d'explorer des structures d'aliments avec différentes échelles de longueur (Elmehdi, 2001; Bellido, 2007; Leroy et al., 2008), mais à ce stade initial on n'a utilisé qu'une seule fréquence de 50 kHz.

Les ultrasons à faible intensité ne changent pas les propriétés des aliments même si une quantité suffisante d'énergie leur est transmise pour permettre d'en déterminer les propriétés. En outre, les ultrasons permettent d'explorer les matières opaques, comme la pâte, ce qu'il n'est pas possible de faire en utilisant la diffusion de la lumière ou d'autres techniques basées sur la propagation de la lumière.

Bien que les ultrasons à faible intensité pourraient être utiles dans les usines de fabrication, l'industrie alimentaire les a peu utilisés jusqu'ici. À l'heure actuelle, l'industrie n'utilise pas les ultrasons à faible intensité pour surveiller la qualité des produits à base de blé (Povey, 1997; Scanlon, 2004). Des études antérieures par d'autres

chercheurs ont établi que les techniques utilisant des ultrasons à faible intensité sont sensibles aux changements des propriétés mécaniques de la pâte causés par :

- la présence et la croissance de bulles de gaz de tailles diverses durant la fermentation;
- l'utilisation de quantités diverses d'eau et de sels (Létang et al., 2001; Elmehdi, Page & Scanlon, 2004; Bellido, 2007; Leroy et al., 2008).

L'utilisation des ultrasons pour distinguer les différences entre les pâtes faites avec des types de blé différents a donné des résultats mixtes (Kidmose, Pedersen & Nielsen, 2001; Alava et al., 2007; Hatcher et al., 2008b).

Expérience pour tester la caractérisation ultrasonore

Matières utilisées dans l'expérience

En vue de déterminer la sensibilité des ultrasons aux changements des propriétés mécaniques des nouilles alcalines jaunes fraîches, les chercheurs ont préparé des nouilles avec des ingrédients différents, entre autres :

- 2 différentes catégories de farine de blé canadien (la farine de blé de force blanc de printemps et la farine de blé dur);
- 3 additifs différents, dont la transglutaminase.

La transglutaminase catalyse les réactions de transfert de l'acyle entre les résidus glutamyl liés aux peptides et les groupes ϵ -amino de résidus de lysine, produisant des pontages covalents sans disulfure entre les protéines. Ces pontages de protéines enzymatiques devraient durcir la structure des protéines du gluten (Basman, Koksel & Ng, 2002; Autio et al., 2005).

Farine

Les chercheurs ont utilisé de la farine de blé dur et de la farine de blé de force de printemps.

Pour fabriquer la farine de blé dur, les chercheurs ont :

- broyé du blé AC Strongfield, une variété de blé dur ambré de l'Ouest canadien (CWAD), pour en faire de la semoule, et
- ont réduit celle-ci en farine entière (Hatcher et al., 2008b).

Pour faire de la farine de blé de force blanc de printemps, les chercheurs ont broyé un composite (plus de 99 %) d'échantillons multiples de la variété Snowbird du blé de force blanc de printemps de l'Ouest canadien (CWHWS) pour le transformer en farine entière à un taux d'extraction de 74 % (Hatcher et al., 2008b). Afin de minimiser l'effet de la taille des particules de farine sur la qualité des nouilles, ils ont utilisé des tamis de 132 μ m pour broyer et bluter les deux farines et obtenir des distributions comparables de tailles de particules (Hatcher et al., 2008b).

Les chercheurs ont déterminé la teneur en protéines ($\% N \times 5,7$) au moyen d'un dosage de l'azote par combustion. Ils ont suivi les méthodes approuvées par l'American Association of Cereal Chemists (AACC, 2000) pour déterminer l'indice de gluten, la teneur en cendres et, par analyse rapide de la viscosité, les paramètres de collage de la farine.

Nouilles

À l'aide d'un agitateur à vitesse variable, les chercheurs ont mélangé :

- 50 grammes de farine,
- du chlorure de sodium et
- une transglutaminase avec du kansui (selon le traitement).

Les concentrations de sel, de kansui et de transglutaminase dans la composition expérimentale des nouilles (P/P, base farine) étaient :

- SK1 = 1 % NaCl + 1% kansui;
- SK2 = 3 % NaCl + 1% kansui;
- SKT = 1 % NaCl + 1 % kansui + 2 % transglutaminase.

Pour fabriquer les échantillons de nouilles, les chercheurs ont :

- étalé la pâte sur un laminoir à nouilles de laboratoire avec un écartement initial de 3,0 mm, l'ont pliée longitudinalement puis étalée à nouveau pour imiter le processus de lamination utilisé par les fabricants de nouilles;
- fait subir à la feuille résultante 7 autres réductions (Kruger, Anderson & Dexter, 1994) dans le laminoir, les rouleaux étant maintenus à 28 °C, avec un délai de 45 secondes entre les passages pour améliorer la reproductibilité des échantillons;
- découpé des disques (d'un diamètre de 5 cm) dans la feuille de pâte en utilisant un instrument à découper métallique à bord tranchant, et obtenu 9 échantillons avec chaque feuille qu'ils ont divisés en 3 groupes :
 - 5 échantillons – utilisés pour obtenir 5 mesures aux ultrasons à différentes épaisseurs,
 - 1 échantillon – utilisé pour mesurer la relaxation des contraintes,
 - 3 échantillons – utilisés pour les mesures de densité;
- laissé les échantillons reposer à la température ambiante (22 °C) durant une heure, ce qui permet l'activation de la transglutaminase quand elle est incorporée à la pâte de farine de blé (Alava et al., 2007).

La température des nouilles lors des mesures rhéologiques était de 23 °C.

Méthodes utilisées dans l'expérience

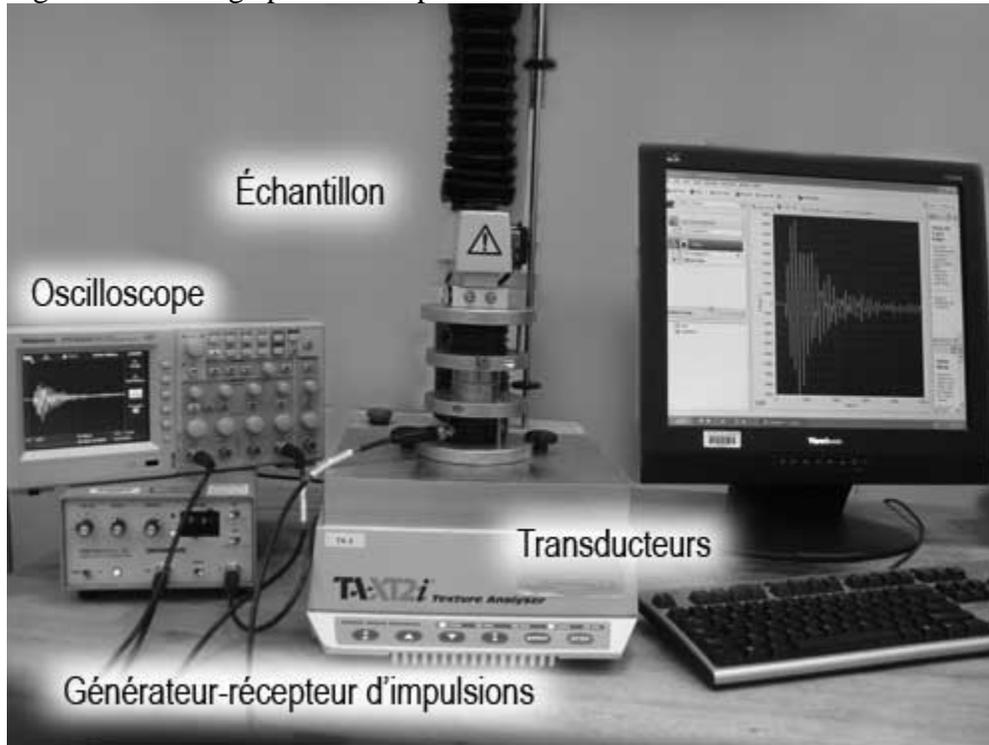
Afin de comprendre dans quelle mesure les tests aux ultrasons sont efficaces pour déterminer la texture des nouilles fraîches, les chercheurs ont comparé les résultats de tests aux ultrasons avec ceux d'un test de relaxation des contraintes. Les chercheurs ont effectué une analyse statistique afin d'interpréter les résultats.

Mesures rhéologiques au moyen des ultrasons

Montage expérimental :

- un générateur-récepteur d'impulsions ultrasonores;
- une paire de transducteurs ayant une fréquence centrale de 40 kHz;
- un oscilloscope numérique.

Figure 1 – Montage pour une expérience avec les ultrasons



Pour mesurer les propriétés au moyen des ultrasons, les chercheurs ont :

1. obtenu des échantillons de nouilles d'épaisseurs variables, par empilage;
2. excité le transducteur d'émission avec une brève pointe de tension positive générée par le générateur-récepteur d'impulsions ultrasonores pour produire une impulsion ultrasonore qui a été transmise dans l'échantillon de nouille et le second transducteur (récepteur) a détecté cette impulsion;
3. amplifié l'impulsion transmise avec un amplificateur de signaux incorporé au générateur-récepteur d'impulsions ultrasonores et moyenné l'impulsion transmise (120 fois) à l'aide de la fonction de moyennage de l'oscilloscope, ce qui a réduit le bruit aléatoire et augmenté le rapport signal sur bruit;
4. téléchargé l'impulsion dans un ordinateur où celle-ci a été filtrée (largeur de bande : 30-50 kHz) et obtenu le temps de transit et l'amplitude de l'impulsion au premier creux de chaque forme d'onde filtrée;
5. déterminé la vitesse des ultrasons à partir des graphes du temps de transit des impulsions ultrasonores en fonction de l'épaisseur de la pâte;
6. obtenu le coefficient d'atténuation des signaux à partir du graphe de l'intensité des signaux ultrasonores en fonction de l'épaisseur de la pâte.



Test de relaxation des contraintes

Les chercheurs ont effectué des mesures de la relaxation des contraintes en utilisant un analyseur de texture.

Des échantillons de pâte ont été comprimés entre les plateaux de compression.

1. La relaxation des contraintes a été mesurée sous compression uniaxiale.
2. Des nouilles fraîches ont été décomprimées à 20 % de l'épaisseur initiale et la contrainte requise pour maintenir ce degré de déformation durant 1 minute (Bellido & Hatcher, 2009b) a été mesurée.
3. À partir des courbes de relaxation des contraintes, on a obtenu la contrainte de compression maximale (σ_{\max}) en kPa, les paramètres sans dimension S^* (l'aire sous la courbe de relaxation des contraintes) et la contrainte résiduelle globale (P^*) (Bellido & Hatcher, 2009b).
 - $(1/S^*)$ est l'inverse de S^* et est une indication du taux de relaxation global.
 - (P^*) est la contrainte résiduelle globale et est une indication de la contrainte résiduelle dans l'échantillon.
 - Un taux de relaxation global élevé et une contrainte résiduelle globale élevée sont caractéristiques des aliments solides mous ayant une grande élasticité (Bellido & Hatcher, 2009b).

Mesures de densité

Il faut connaître la densité pour calculer :

- le module des nouilles;
- la vitesse des ultrasons;
- l'atténuation des ultrasons.

Les chercheurs ont mesuré la densité en utilisant le principe d'Archimède (Bellido et al., 2009).

Analyse statistique

Les chercheurs ont effectué une analyse statistique de leurs mesures pour comprendre comment les résultats des tests aux ultrasons se comparaient à ceux de la relaxation des contraintes. À cette fin, ils ont :

1. reproduit tous les tests 3 fois ($n = 3$) en utilisant un lot de nouilles fraîchement préparées pour chaque test;
2. déterminé la variance en utilisant le modèle linéaire général (« GLM ») du Statistical Analysis System;
3. utilisé la plus petite différence significative de Fischer pour comparer les valeurs moyennes des paramètres obtenus :
 - de mesures de densité et de mesures sur/avec les ultrasons (vitesse et atténuation des ultrasons, module de conservation, module de perte, rapport du module de perte au module de conservation);
 - de mesures de relaxation des contraintes (contrainte maximale, taux de relaxation moyen et contrainte résiduelle).

Remarque : À moins d'indication contraire, on a utilisé $p < 0,05$.



Discussion des résultats de l'expérience

La présente étude montre que les ultrasons peuvent :

- caractériser le comportement rhéologique des nouilles d'un point de vue non empirique (objectif);
- réagir à un paramètre d'intérêt technologique. Exemple : la contrainte de compression maximale est liée à la fermeté des nouilles (Bellido et al., 2006) et est bien corrélée avec la force mesurée requise pour comprimer une nouille entre les molaires (Oh et al., 1983).

Caractéristiques de la farine

Le tableau 1 montre les caractéristiques chimiques et physiques de la farine utilisée dans la fabrication des échantillons de nouilles.

- Les deux farines avaient les mêmes teneurs en protéines et indices de gluten.
- La teneur en cendres de la farine de blé dur ambré est plus grande que celle de la farine de blé de force blanc de printemps. Une teneur en cendres élevée est souvent observée quand du blé dur riche en pigments jaunes est broyé pour être incorporé à la farine.
- La farine de blé dur avait une capacité d'absorption de l'eau au farinographe nettement plus grande à cause de la dégradation de l'amidon causée par le broyage des grains plus durs du blé dur pour incorporer celui-ci à la farine. Les tests d'analyse rapide de la viscosité ont également montré cette plus grande dégradation de l'amidon parce que la farine de blé dur donne une pâte dont les viscosités maximale et finale sont moins grandes.
- L'amidon très dégradé n'est pas souhaitable dans les nouilles faites de farine de blé tendre (Hatcher, Edwards & Dexter, 2008a). Cependant, l'amidon très dégradé dans la farine de blé dur a un effet moindre sur les nouilles fabriquées avec cette farine (Hatcher, Edwards & Dexter, 2008a).

Tableau 1 – Analyses immédiates des farines de blé expérimental (blé de force blanc de printemps de l’Ouest canadien [CWHWS] et blé dur ambré de l’Ouest canadien [CWAD]) utilisées dans la production de nouilles alcalines jaunes fraîches.

Analyses	CWHWS	CWAD	PPDS ^b
Mesures			
Teneur en protéines (CNA ^a), %	13,2	13,1	-
Indice de gluten, %	95,8	93,6	-
Teneur en cendres, %	0,41	0,62	-
Teneur en eau (à l’état humide), %	14,9	14,2	-
Farinogramme			
Absorption, %	62,4	76,4	-
Durée d’élaboration de la pâte, min	10,0	4,3	-
Stabilité, min	14,8	5,8	-
Paramètres de collage et de gonflement de la RVA^c			
Viscosité maximale, Pa s	3,117	2,203	0,051
Creux, Pa s	1,725	1,324	0,031
Décomposition, Pa s	1,391	0,879	0,061
Viscosité finale, Pa s	3,130	2,712	0,032
Viscosité de retour, Pa s	1,306	1,388	0,042
Rapport de stabilité	0,81	0,40	0,02
Rapport de retour	0,45	1,05	0,05

a. CNA (« Combustion Nitrogen Analysis ») : dosage de l’azote par combustion

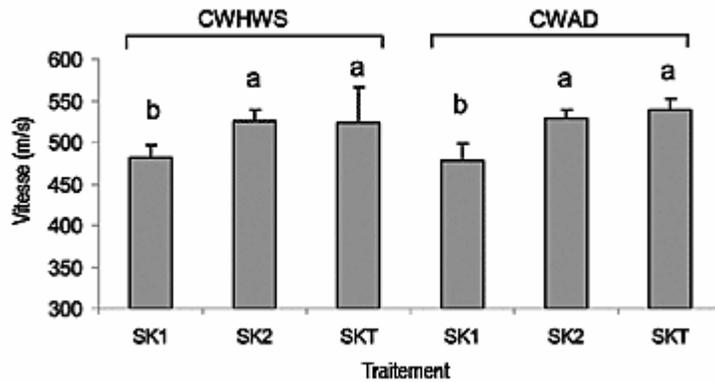
b. PPDS : plus petite différence significative ($p = 0,05$)

c. Décomposition = (viscosité maximale – viscosité maximale à chaud); retour = (viscosité de la pâte après le refroidissement – viscosité maximale à chaud); rapport de stabilité = [(viscosité finale – creux)/creux]; rapport de retour = [(viscosité maximale – creux)/viscosité maximale].

Propriétés déterminées par les ultrasons

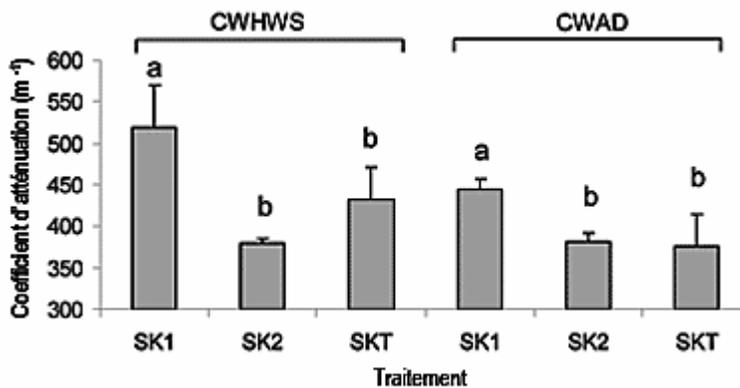
Il est possible d’utiliser les mesures de la vitesse des ultrasons pour étudier et quantifier les effets qu’ont divers ingrédients sur les propriétés physiques des nouilles alcalines jaunes (figure 3A). Les chercheurs ont trouvé que la vitesse des ondes ultrasonores augmentait de façon importante dans tous les types de nouilles après un contrôle SK2 ou SKT relatif à un traitement de contrôle.

Figure 3A



Vitesses (A) et atténuations (B) des ultrasons obtenues avec des nouilles alcalines jaunes fraîches faites de farine de CWHWS ou de CWAD avec différentes combinaisons d'ingrédients. SK1 = 1 % NaCl + 1 % kansui, SK2 = 3 % NaCl + 1 % kansui et SKT = 1 % NaCl + 1 % kansui + 2 % transglutaminase.

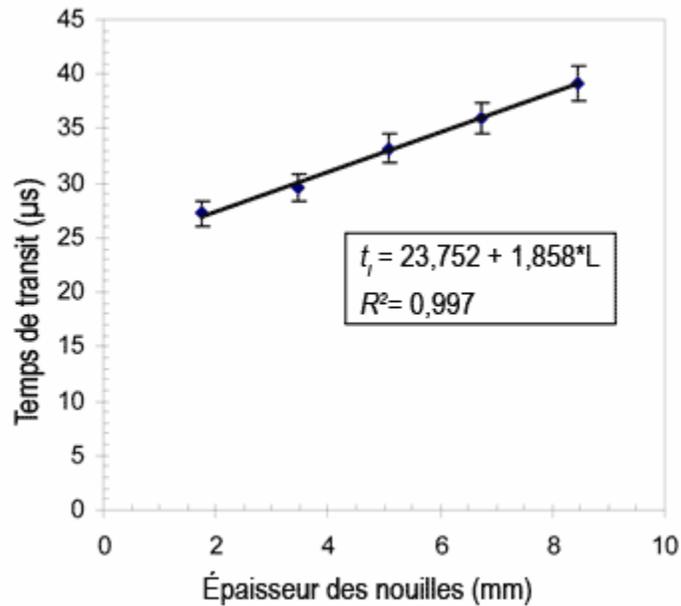
Figure 3B



La vitesse des ultrasons étant plus grande dans les matières dures, elle semble sensible aux effets de durcissement du chlorure de sodium (Bloksma & Bushuk, 1988) et de la transglutaminase (Autio et al., 2005; Steffolani et al., 2008) sur les propriétés rhéologiques de la pâte. Cependant, les données montrent que les mesures de la vitesse des ultrasons ne peuvent distinguer les différences des propriétés de nouilles faites avec deux catégories de blé différentes, ce qui confirme les résultats d'études antérieures de la pâte à pain (Kidmose, Pedersen & Nielsen, 2001) faites avec des ultrasons.

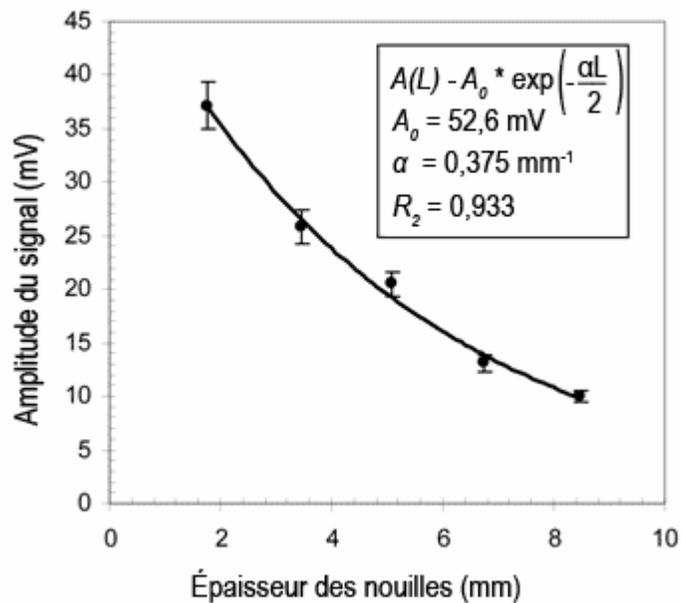
Les chercheurs ont conclu que la technique des ultrasons donne des mesures de vitesse exemptes d'artefacts. Ils ont déterminé la vitesse des ultrasons à partir de l'inverse de la pente de la droite d'ajustement optimal des données (figure 1A). L'excellent ajustement de la droite ($R^2 = 0,997$) montre que les effets des temps de transit dus à l'empilage des échantillons de nouilles sont trop faibles pour être détectés dans les expériences des chercheurs.

Figure 2A



Le temps de transit des impulsions (A) et l'amplitude des signaux ultrasonores (B) en fonction de l'épaisseur de l'échantillon pour des nouilles alcalines jaunes fraîches faites avec deux catégories de blé et divers ingrédients (base farine), tel qu'illustré ici pour la pâte de CWAD formulée avec un traitement SKT (1 % NaCl + 1 % kansui et 2 % transglutaminase). Les barres d'erreur indiquent l'écart type (n = 3). On trouvera une information plus détaillée dans le texte.

Figure 2B



Coefficient d'atténuation

Les chercheurs ont trouvé que l'atténuation des ultrasons dans les nouilles fraîches était plus faible dans les nouilles contenant un supplément de sel (SK2) et de transglutaminase (SKT) (figure 2B). Les données sur l'atténuation montrent que les échantillons de pâte sont devenus plus durs après l'addition de sel, comme l'indiquaient les données sur la vitesse des ultrasons. Les échantillons ont également durci après l'addition de transglutaminase comme l'indiquent les données sur la vitesse des ultrasons.

Propriétés mécaniques déduites des mesures sur les ultrasons

Le tableau 2 montre les propriétés mécaniques des nouilles alcalines jaunes expérimentales qui sont déduites des mesures de densité et des mesures sur les ultrasons à une fréquence de 40 kHz. Les résultats montrent que :

- les ultrasons sont sensibles aux changements des propriétés mécaniques des nouilles alcalines jaunes causés par l'addition :
 - de chlorure de sodium (SK2 vs SK1), ou
 - de transglutaminase (SKT vs SK1);
- les nouilles faites avec SK2 et SKT ont un module mécanique nettement plus élevé ($p < 0,05$) que les nouilles faites avec SK1.

Quand on a utilisé une transglutaminase dans les nouilles, la composante élastique du module longitudinal était sensible aux effets de durcissement dus au sel et à la transglutaminase. M' a augmenté d'environ 30 %.

L'analyse aux ultrasons du comportement viscoélastique des nouilles montre que, comparativement à la formule standard (SK1), la pâte faite de SK2 ou de SKT et de farine de blé de force blanc de printemps a donné des nouilles ayant un comportement plus élastique (tel qu'indiqué par une baisse du rapport M''/M') (tableau 2). Cet effet n'a pas été observé dans les nouilles faites avec de la farine de blé dur.

Dans une étude antérieure (Bellido & Hatcher, 2009b), les chercheurs ont proposé qu'étant donné que seule une fraction relativement faible des liaisons disulfure participe au pontage du réseau de protéines dans le blé dur ambré, les propriétés rhéologiques des nouilles faites de farine de blé dur seraient moins sensibles au clivage des liaisons disulfure causé par la L-cystéine. De même, l'une des interprétations des différences observées dans les rapports M''/M' pour les nouilles de blé dur et de blé de force blanc de printemps (tableau 2) est que la transglutaminase n'a pas modifié autant la viscoélasticité des nouilles de blé dur parce que celui-ci a une fraction plus faible de protéines de gluten à poids moléculaire élevé (et par conséquent un nombre plus faible de liaisons disulfure intermoléculaires dans son réseau de protéines) que le blé de force blanc de printemps.



Tableau 2 – Densité, module de conservation (M'), module de perte (M'') et rapport M''/M' pour les nouilles alcalines jaunes faites avec deux catégories de blé canadien (le blé de force blanc de printemps de l'Ouest canadien et le blé dur ambré de l'Ouest canadien) et différentes combinaisons de sels et/ou d'enzymes. SK1 = 1 % NaCl + 1 % *kansui*, SK2 = 3 % NaCl + 1 % *kansui* et SKT = 1 % NaCl + 1 % *kansui* + 2 % transglutaminase.

Traitement	Densité (kg/m ³) ₁	M' (MPa) ^{1,2}	M'' (MPa) ^{1,2}	M''/M' ^{1,2}
CWHWS				
SK1	1262 ± 23 b	231 ± 95 b	286 ± 23 ab	1,24 ± 0,05 a
SK2	1265 ± 14 b	300 ± 26 a	285 ± 15 ab	0,96 ± 0,12 c
SKT	1303 ± 18 a	296 ± 48 a	326 ± 61 a	1,10 ± 0,07 b
CWAD				
SK1	1277 ± 8 ab	245 ± 21 b	251 ± 28 b	1,02 ± 0,03 bc
SK2	1260 ± 20 b	301 ± 13 a	291 ± 79 ab	0,97 ± 0,03 bc
SKT	1281 ± 2 ab	317 ± 21 a	307 ± 29 ab	0,97 ± 0,01 bc
PPDS _{0,05}	28	47	57	0,14

1. Dans une même colonne, les valeurs auxquelles sont apposées des lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$.
2. Valeurs dérivées de mesures triples de la vitesse et de l'atténuation des ultrasons.

Tests de relaxation des contraintes

Les chercheurs de la Commission canadienne des grains ont utilisé trois paramètres pour caractériser le comportement des nouilles alcalines jaunes dans les tests de relaxation des contraintes :

- la contrainte de compression maximale (σ_{\max});
- le taux de relaxation global ($1/S^*$);
- la contrainte résiduelle (P^*).

Les tests de relaxation des contraintes ont montré que les traitements SK2 et SKT produisaient des pâtes à nouilles plus fermes que le traitement SK1 (tableau 3). Ce résultat est semblable aux renseignements rhéologiques obtenus dans les expériences aux ultrasons (tableau 2).

Tableau 3 – Tension de compression maximale (σ_{\max}), taux de relaxation global ($1/S^*$) et contrainte résiduelle (P^*) obtenus dans des tests de relaxation des contraintes effectués sur des nouilles alcalines jaunes fraîches faites avec de la farine de deux classes de blé canadien et différentes combinaisons d'ingrédients. SK1 = 1 % NaCl + 1 % *kansui*, SK2 = 3 % NaCl + 1 % *kansui* et SKT = 1 % NaCl + 1 % *kansui* + 2 % transglutaminase.

Traitement	σ_{\max} (kPa) ^{1,2}	$1/S^*$ ^{1,2}	P^* ^{1,2}
CWHWS			
SK1	18,9 ± 0,3 c	1,37 ± 0,01 a	0,68 ± 0,01 b
SK2	21,8 ± 1,5 ab	1,42 ± 0,05 a	0,65 ± 0,01 c
SKT	22,4 ± 0,4 a	1,42 ± 0,03 a	0,66 ± 0,01 bc
CWAD			
SK1	20,2 ± 0,4 bc	1,24 ± 0,03 b	0,77 ± 0,02 a
SK2	21,3 ± 1,8 ab	1,21 ± 0,01 b	0,79 ± 0,01 a
SKT	21,4 ± 1,4 ab	1,22 ± 0,02 b	0,78 ± 0,01 a
	2,1	0,05	0,02

1. Dans une même colonne, les valeurs auxquelles sont apposées les lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$.
2. Valeurs dérivées de mesures triples.

Les tests de relaxation des contraintes ont montré que la farine de blé dur donnait des nouilles à comportement élastique plus fort (taux de relaxation global et tension résiduelle plus élevés) que la farine de blé de force blanc de printemps. Le plus net comportement élastique des nouilles de blé dur comparativement aux nouilles de blé de force blanc de printemps a été confirmé par le paramètre ultrasonore mesurant le comportement viscoélastique (M''/M' , tableau 2). Cependant, l'analyse statistique des données groupées a montré que la corrélation entre ces paramètres (taux de relaxation global, tension résiduelle, M''/M') n'était pas suffisamment forte pour être statistiquement significative (tableau 4).

Tableau 4 – Coefficients de corrélation (R) et probabilités¹ (p) pour les paramètres de relaxation des contraintes et de rhéologie ultrasonore.

	Contrainte maximale	1/S*	P*
Vitesse (v)	0,529 <i>0,024</i>	-0,034 <i>ns</i>	0,025 <i>ns</i>
Atténuation (α)	-0,537 <i>0,022</i>	0,246 <i>ns</i>	-0,291 <i>ns</i>
Densité (ρ)	0,201 <i>ns</i>	0,259 <i>ns</i>	-0,169 <i>ns</i>
M'	0,566 <i>0,014</i>	-0,078 <i>ns</i>	0,098 <i>ns</i>
M''	0,304 <i>ns</i>	0,180 <i>ns</i>	-0,226 <i>ns</i>
M''/M'	-0,410 <i>0,091</i>	0,316 <i>ns</i>	-0,382 <i>ns</i>
M	0,485 <i>0,041</i>	0,059 <i>ns</i>	-0,070 <i>ns</i>

¹*ns* : non significatif à une probabilité de 5 %.



Remerciements

Les auteurs remercient fortement M. Anderson et H. Facto pour leur assistance technique dans la préparation des échantillons expérimentaux.

Glossaire

Atténuation – Diminution de l'intensité d'une onde sonore causée par la matière avec laquelle elle est en interaction.

Kansui – Mélange de sels de carbonates de sodium et de potassium qui rend une nouille alcaline. Jaunit les flavonoïdes du blé. Les consommateurs préfèrent des nouilles jaunes.

Module – Grandeur d'une constante physique représentant la capacité d'une matière à résister aux déformations quand elle est soumise à une force extérieure.
 $p < 0,05$: Signifie que deux traitements ont donné des résultats statistiques différents.

Rhéologie – Science de la déformation et de l'écoulement de la matière. Utilisée pour expliquer comment les propriétés d'une matière déterminent sa déformation et son écoulement sous l'effet de forces extérieures.

Exemple : la rhéologie explique comment une sensation, comme la fermeté du pain, est liée au comportement physique de celui-ci quand il est soumis à une compression.

Autre exemple : la force maximale est observée à une compression de 20 %.

Texture – Arrangement structural des constituants d'un aliment et les stimuli que cette structure applique à l'appareil sensoriel humain.

Transglutaminase – Une enzyme. Cause la liaison des protéines, ce qui durcit la structure des protéines du gluten dans les nouilles.

Viscoélastique – Se dit d'une matière ayant des propriétés situées entre celles d'une matière liquide (viscosité) et celles d'une matière solide (élasticité).

Vitesse – Vitesse de propagation des ondes sonores dans une matière.



Ouvrages cités

American Association of Cereal Chemists. (2000). *Approved Methods of the AACC*, tenth ed. AACC International, St. Paul, MN.

Autio, K., Kruus, K., Knaapila, A., Gerber, N., Flander, L., Buchert, J. (2005). Kinetics of transglutaminase-induced cross-linking of wheat proteins in dough. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1039-1045.

Alava, J.M., Sahi, S.S., Gracia-Alvarez, J., Turo, A., Chavez, J.A., Gracia, M.J., Salazar, J. (2007). *Use of ultrasound for the determination of flour quality*. *Ultrasonics*, 46, 270-276.

Basman, A., Koksel, H., & Ng, P.K.W. (2002). Effects of transglutaminase on SDS-PAGE patterns of wheat, soy, and barley proteins and their blends. *Journal of Food Science*, 67, 2654-2658.

Bellido, G.G. (2007). *Creation, growth and stability of aerated structures in chemically leavened wheat flour dough systems and relationships to mechanical properties assessed with low-intensity ultrasound*. PhD Thesis, University of Manitoba, Canada.

Bellido, G.G., & Hatcher, D.W. (2009). Asian noodles: revisiting Peleg's analysis for presenting stress relaxation data in soft solid foods. *Journal of Food Engineering*, 92, 29-36.

Bellido, G.G., & Hatcher, D.W. (2009). Stress relaxation behaviour of yellow alkaline noodles: effects of deformation history. *Journal of Food Engineering*, 93, 460-467.

Bellido, G.G., Scanlon, M.G., Page, J.H., & Hallgrimson, B. (2006). The bubble size distribution in wheat flour dough. *Food Research International*, 39, 1058-1066.

Bellido, G.G., Scanlon, M.G., & Page, J.H. (2009). Measurement of dough specific volume in chemically leavened dough systems. *Journal of Cereal Science*, 49, 212-218.

Bloksma, A.H., & Bushuk, W. (1988). *Rheology and chemistry of dough* (3rd ed.). In Y. Pomeranz (Ed.). *Wheat: Chemistry and Technology* (Vol. 2) (pp. 131-218). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.

Cobus, L.A.E.B., Ross, K.A., Scanlon, M.G., & Page, J.H. (2007) Comparison of ultrasonic velocities in dispersive and nondispersive food materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 8889-8895.



Elmehdi, H.M. (2001). An ultrasonic investigation of the effect of voids on the mechanical properties of bread dough and the role of gas cells in determining the cellular structure of freeze-dried breadcrumb. PhD Thesis, University of Manitoba, Canada.

Elmehdi, H.M., Page, J.H., & Scanlon, M.G. (2004). Ultrasonic investigation of the effect of mixing under reduced pressure on the mechanical properties of bread dough. *Cereal Chemistry*, 81, 504-510.

Garcia-Alvarez, J., Alava, J.M., Chavez, J.A., Turo, A., Gracia, M.J., Salazar, J. (2006). Ultrasonic characterization of flour-water systems: a new approach to investigate dough properties. *Ultrasonics*, 44, 1051-1055.

Hatcher, D.W. (2001). Asian noodle processing. In: Owens, G., *Cereals Processing Technology* (pp. 131-157). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Hatcher, D.W., Edwards, N.M., & Dexter, J.E. (2008a). Effects of flour particle size and starch damage and alkaline reagent on yellow alkaline noodle characteristics. *Cereal Chemistry*, 85, 425-432.

Hatcher, D.W., Bellido, G.G., Dexter, J.E., Anderson, M.J., & Fu, B.X. (2008c). Investigation of uniaxial stress relaxation parameters to characterize the texture of yellow alkaline noodles made from durum and common wheats. *Journal of Texture Studies*, 39, 695-708.

Kidmose, U., Pedersen, L., & Nielsen, M. (2001). Ultrasonics in evaluating rheological properties of dough from different wheat varieties and during ageing. *Journal of Texture Studies*, 32, 321-334.

Kruger, J.E., Anderson, M.H., & Dexter, J.E. (1994). Effect of flour refinement on raw Cantonese noodle color and texture. *Cereal Chemistry*, 71, 177-182.

Létang, C., Piau, M., Verdier, C., & Lefebvre, L. (2001). Characterization of wheat-flour-water doughs : a new method using ultrasound. *Ultrasonics*, 39, 133-141.

Leroy, V., Fan, Y., Strybulevych, A.L., Bellido, G.G., Page, J.H., & Scanlon, M.G. (2008). Investigating the bubble size distribution in dough using ultrasound. In G. M. Campbell et al. (Eds.). *Bubbles in Food 2: Novelty, Health and Luxury* (pp. 51-61). St. Paul, MN: AACC Press.

Oh, N.H., Seib, P.A., Deyoe, C.W., & Ward, A.B. (1983). Noodles I: Measuring the textural characteristics of cooked noodles. *Cereal Chemistry*, 60, 433-438.

Povey, M.J.W. (1997). *Ultrasonic Techniques for Fluids Characterization* (pp. 214). San Diego, CA: Academic Press.



Scanlon, M.G. (2004). Low-intensity ultrasound for food research and the food industry. *Food Research International*, 37, 535-536.

Steffolani, M.E., Perez, G.T., Ribotta, P.D., Puppo, M.C., Leon, A.E. (2008). Effect of transglutaminase on properties of glutenin macropolymer and dough rheology. *Cereal Chemistry*, 85, 38-43.

Sources supplémentaires

Asenstorfer, R.E., Want, Y., & Mares, D.J. (2006). Chemical structure of flavonoid compounds in wheat (*Triticum aestivum* L.) flour that contribute to the yellow colour of Asian alkaline noodles. *Journal of Cereal Science*, 43, 108-119.

Edwards, N.M., Scanlon, M.G., Kruger, J.E., & Dexter, J.E. (1996). Oriental noodle dough rheology: relationship to water absorption, formulation, and work input during dough sheeting. *Cereal Chemistry*, 73, 7080711.

Hatcher, D.W., Kruger, J.E., & Anderson, M.J. (1999). Influence of water absorption on the processing and quality of oriental noodles. *Cereal Chemistry*, 76, 566-572.

Hatcher, D.W., & Anderson, M.J. (2007). Influence of alkaline formulation on oriental noodle color and texture. *Cereal Chemistry*, 84, 253-259.

Hatcher, D.W., & Preston, K.R., (2004). Investigation of a small-scale asymmetric centrifugal mixer for the evaluation of Asian noodles. *Cereal Chemistry*, 81, 303-307.

Hatcher, D.W., & Symons, S.J. (2000) Image analysis of Asian noodle appearance: impact of hexaploid wheat with a red seed coat. *Cereal Chemistry*, 77, 388-391.

Hatcher, D.W., Dexter, J.E., & Fu, B.X. (2008b). Investigation of amber durum wheat for production of yellow alkaline noodles. *Journal of Cereal Science*, 48, 848-856.

Hatcher, D.W., Dexter, J.E., Anderson, M.J., Bellido, G.G., & Fu, B.X. (2009) Effect of blending durum wheat flour with hard white wheat flour on the quality of yellow alkaline noodles. *Food Chemistry*, 113, 980-988.

Lee, H.O., Luan, H., & Daut, D. (1992). Use of an ultrasonic technique to evaluate the rheological properties of cheese and dough. *Journal of Food Engineering*, 16, 127-150.

Létang, C., Piau, M., & Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour-water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 41, 121-132.

Miskelly, D.M. (1984). Flour components affecting paste and noodle color. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, 463-471.



Ross, A.S., & Ohm, J.B. (2006). Sheeting characteristics of salted and alkaline Asian noodle doughs: comparison with lubricated squeezing flow attributes. *Cereal Foods World*, 51, 191-196.

Weipert, D. (1990). The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67, 311-317.

Wu, J., Beta, T., & Corke, H. (2006). Effects of salt and alkaline reagents on dynamic rheological properties of raw oriental wheat noodles. *Cereal Chemistry*, 82, 211-217.

Yu, L.J., & Ngadi, M.O. (2006). Rheological properties of instant fried noodle dough as affected by some ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 544-548.