

Aptitude des variétés de pommes à la transformation industrielle

Emira MEHINAGIC, Erwan BOURLES et Frédérique JOURJON, Ecole supérieure d'agriculture – Laboratoire GRAPPE, BP 30748, 55 rue Rabelais, 49007 Angers Cedex 01, France

Renseignements: F. JOURJON, e-mail: f.jourjon@groupe-esa.com, tél. 0033 241 23 55 55



Préparation des fruits à la transformation.

Introduction

La pomme occupe le premier rang de la production européenne de fruits (10 millions de tonnes/an récoltées en moyenne entre 2003 et 2007), et c'est également le fruit le plus consommé en Europe. Par ailleurs, sans modification majeure du contexte actuel, la production mondiale de pommes de table devrait continuer à rester excédentaire, avec 64 millions de tonnes pour une consommation de 51 millions de tonnes (FAOSTAT, 2007). En outre, comme les consommateurs recherchent de plus en plus des produits pratiques (en portions individuelles), préparés (pré-épluchés, pré-découpés, etc.) et de qualité (gustative, nutritionnelle), il est fort probable que le volume de fruits destinés à la transformation continue à augmenter. Pour faire face à une demande de plus en plus exigeante des consommateurs, il est nécessaire de renforcer les liens entre les producteurs, en amont de la filière, et les industries de

la transformation (jus, compotes, purées, fruits 4^e et 5^e gamme, etc.). Il existe peu de travaux scientifiques publiés sur le lien entre la qualité des pommes de table et leur aptitude à la transformation. Le laboratoire GRAPPE a donc mis sur pied un programme de recherche collaboratif, Nutripomme, qui réunit des partenaires régionaux de la production et de la transformation. Son objectif est de sélectionner les variétés les mieux adaptées à 2 différents types de transformation – pomme 5^e gamme et desserts fruitiers en morceaux – en fonction de l'état physiologique des fruits (fraîchement récoltés ou après stockage prolongé) et des paramètres de cuisson qui constituent l'étape critique de ces procédés. Seule une partie des résultats issus de ce projet est présentée dans cet article et permet de répondre à la question: comment la qualité initiale des fruits influence-t-elle leur aptitude à la transformation en 5^e gamme et notamment leur tenue (texture)? L'étude présentée ici porte sur 10 variétés de pommes cultivées en Val de Loire, caractérisées avant et après transformation; son objectif est de valider l'hypothèse souvent reprise par les industriels de la transformation, selon laquelle les fruits les plus fermes résistent d'avantage aux transformations dures (type cuisson sous vide).

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Dix variétés de pommes différentes (Golden Delicious, Braeburn, Fuji, Cripps Pink, Ariane, Royal Gala, Cameo, Belchard, Granny Smith et Canada Grise), ont été récoltées en 2006 à la Station d'expérimentation fruitière de la Morinière (Indre et Loire), puis stockées en chambre froide à 3°C pendant 8 à 10 semaines en atmosphère normale. Cinq de ces variétés, présentant des comportements à la transformation différents (Braeburn, Granny Smith, Golden Delicious, Cripps Pink et Royal Gala.) ont fait l'objet d'une seconde étude, en 2007, pour valider les résultats de la première saison sur les fruits fraîchement récoltés (2 semaines de stockage à 3°C). Le tableau 1 récapitule les principales caractéristiques de ces fruits à l'état frais.

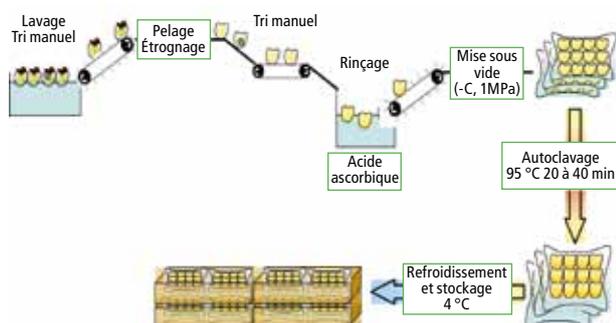


Figure 1 | Procédé de fabrication des fruits 5° gamme.

Procédés de transformation

50 kg de fruits par lot ont été transformés en fruits 5° gamme selon le procédé schématisé à la figure 1. Les pommes sont d'abord triées et lavées dans un bac tampon. Elles sont ensuite pelées et étrégnées automatiquement par rotation avant de passer dans un bain de lavage. Ce bain contient de l'acide ascorbique pour inhiber les réactions de brunissement. Elles sont ensuite mises sous vide et cuites à l'autoclave pendant 20 à 40 minutes à 95 °C (seuls les essais à 25 minutes sont présentés ici). Les barèmes de cuisson ont été choisis avec les industriels de façon à ce que la qualité des produits transformés reste acceptable microbiologiquement et visuellement. Pendant la cuisson, la pression dans l'autoclave est de 0,13 MPa. Le refroidissement est réalisé à l'eau glacée jusqu'à ce que les pommes atteignent une température de 40 °C, puis les fruits sont placés dans une salle de refroidissement jusqu'à ce qu'ils atteignent 4 °C. Les produits sont ensuite stockés à 4 °C en chambre froide.

Résumé La maîtrise de la qualité des fruits transformés nécessite une bonne connaissance de la matière première et de son impact sur le produit fini. L'étude présentée dans cet article analyse l'effet de la qualité des pommes, et notamment de leur texture, sur leur aptitude à la transformation en fruits 5° gamme (fruits épluchés puis cuits sous vide). Pour cela, un des facteurs fortement liés aux variations de la texture des fruits a été testé : la variété. Les résultats de l'étude indiquent que le choix variétal est primordial pour obtenir un produit transformé de qualité satisfaisante. En effet, la fermeté des fruits à l'état frais ne permet pas de garantir leur bonne tenue à la cuisson au cours de la transformation. Ainsi, contre toute attente, malgré une fermeté initiale plutôt élevée, les pommes Granny Smith ne se montrent pas du tout adaptées au procédé 5° gamme. Les variétés les plus prometteuses sont les Royal Gala et les Cripps Pink.

Analyse de la texture des fruits avant et après transformation

La texture des fruits frais et transformés en 5° gamme est analysée par la méthode de double compression, réalisée avec la machine de traction MTS Synergie 200H (MTS Systems). La peau des fruits frais est ôtée à l'aide d'un économiseur afin de disposer de mesures com-

Tableau 1 | Matériel végétal étudié.

Variété	Année de la récolte	Durée de stockage à 3 °C (semaines)	IR (°Brix)	Acidité titrable (eg. acide malique)
Royal Gala	2006	8 à 10	14,5	3,7
Braeburn	2006	8 à 10	13,9	5
Ariane	2006	8 à 10	14,3	5,3
Cripps Pink	2006	8 à 10	15,7	5,3
Fuji	2006	8 à 10	15,5	1,9
Cameo	2006	8 à 10	14,7	2,5
Granny Smith	2006	8 à 10	13,8	8,5
Canada Grise	2006	8 à 10	16,6	8,8
Golden Delicious	2006	8 à 10	13,3	3,1
Belchard	2006	8 à 10	13,9	4,8
Braeburn	2007–2008	2	11,7	5,7
Golden Delicious	2007–2008	2	11,5	4,5
Granny Smith	2007–2008	2	11,7	8,1
Cripps Pink	2007–2008	2	14,2	6,1
Royal Gala	2007–2008	2	12,0	3,4

parables à celles des fruits 5^e gamme (également épluchés). Des coupes radiales de pommes de 2 cm de haut sont préparées. Les tranches de fruit sont comprimées à 20 % de leur hauteur initiale par une sonde plate en plastique de 2 cm de diamètre (fig. 2), à une vitesse constante de 20 mm/min. Lors de la première année, 6 mesures ont été réalisées par fruit, et 5 la deuxième année, les fruits étant de calibre inférieur. Le test comprend deux cycles de compression, avec chaque fois une phase de charge (compression) et une phase de décharge (décompression). A partir de ces courbes, 7 paramètres sont extraits (Bourne, 2002; fig. 2):

- la force maximale obtenue lors de la première compression notée (H_1) et également appelée dureté à la 1^{re} compression;
- la force maximale obtenue lors de la deuxième compression notée (H_2) et également appelée dureté à la 2^e compression ou dureté résiduelle;
- les énergies associées à la première et deuxième compression, notées (W_{H1} et W_{H2}), utilisées pour estimer les pertes irréversibles d'énergie pendant chaque cycle de compression/décompression;
- les pentes de la première et deuxième compression notées ($Grad_1$ et $Grad_2$);
- la cohésion (pas d'unité), calculée par le ratio des aires sous les courbes des phases de charge des 2 compressions;
- le gommeux calculé par le produit de la dureté 1 et de la cohésion.

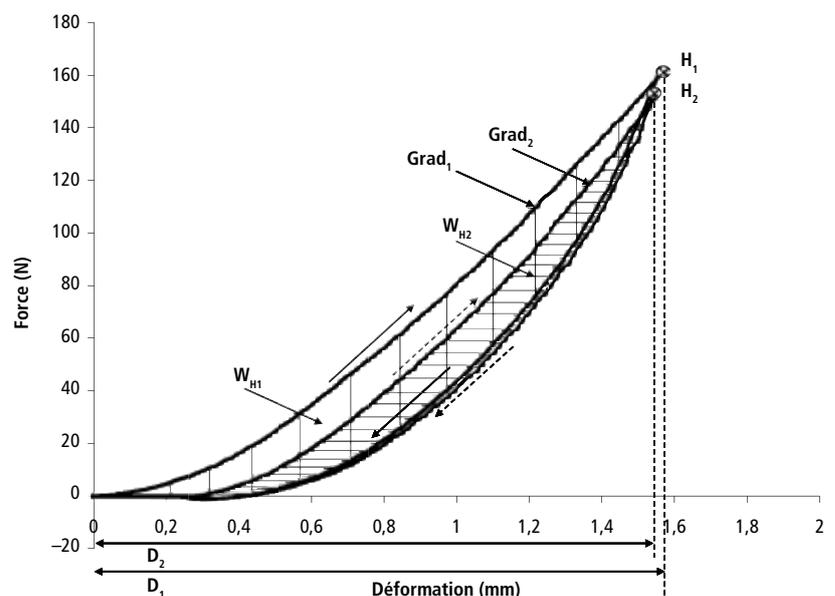
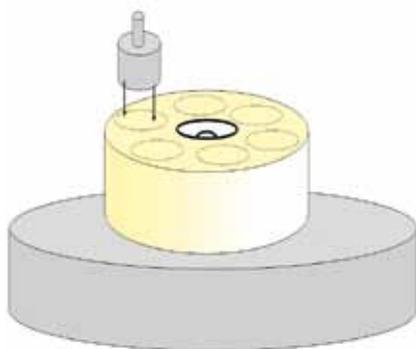


Figure 2 | Schéma du protocole d'échantillonnage pour l'analyse des pommes en double compression, et l'exemple de courbe force/compression issue de cette analyse.

Analyses statistiques des données

Des analyses de variance (ANOVA) à un ou plusieurs facteurs ont été réalisées sur les données brutes instrumentales et biochimiques avec le logiciel Statgraphics Plus. Les groupes statistiques ont été différenciés par le test LSD (Least Significant Differences) de Fisher, au risque 5 %.

Résultats et discussions

Texture des 10 variétés de pommes à l'état frais

Le tableau 2 récapitule les données sur les propriétés mécaniques des 10 variétés de pommes (saison 2006/2007) analysées à l'état frais. D'après les valeurs moyennes de leur dureté mesurée à la première ou deuxième compression (H_1 , H_2 ; tabl. 2), les variétés de pommes peuvent être classées en 5 groupes. Les pommes Braeburn sont les plus résistantes à la compression (dureté obtenue lors de la première compression égale à 152 N), suivies des pommes Ariane (134 N). Un troisième groupe est constitué des pommes Fuji, Cripps Pink, Granny Smith et Royal Gala, avec un niveau de dureté moyen compris entre 98 et 105 N. Le quatrième groupe est constitué des variétés Cameo et Golden Delicious, avec des duretés moyennes de 87 et 86 N. Enfin, le dernier groupe, qui présente les valeurs de dureté les plus basses (moins de 40 N) inclut les variétés Belchard et Canada Grise. Les résultats obtenus sont en partie en accord avec ceux d'autres auteurs.

Mehinagic *et al.* (2004) ont montré, dans le cas de mesure de texture par double compression, que la hiérarchie de dureté des fruits était la suivante: Braeburn > Fuji > Golden Delicious. Varela *et al.* (2007) ont comprimé des pommes Golden Delicious et Granny Smith uniaxialement et ont révélé une fermeté supérieure des Granny Smith. Billy *et al.* (2008) ont également montré par double compression que la chair des pommes Fuji était significativement plus ferme et élastique que celle des Golden Delicious. Pour les variétés anciennes telles que Belchard et Canada Grise, ainsi que pour certaines variétés nouvelles (Cripps Pink et Ariane), aucune donnée comparant leurs propriétés mécaniques n'a été trouvée dans la littérature. Malgré de fortes différences entre variétés, l'allure des courbes de compression a été sensiblement la même pour la majorité des fruits testés. Le paramètre rhéologique «cohésion» a permis de mettre en exergue différents modes de rupture des tissus lors de la compression, en fonction de la variété de pomme. D'après sa formule de calcul (cohésion = WH_2/WH_1), ce paramètre donne une information sur l'état de déstructuration des tissus après le premier cycle de compression. Plus les tissus ont été écrasés et abîmés irrémédiablement (éclatement des cellules) lors de la première compression, et plus les valeurs de cohésion sont proches de zéro. Les plus hautes valeurs ont été observées avec les variétés Belchard, Canada Grise et Royal Gala et les plus basses avec Cameo, Granny Smith et Braeburn (tabl. 2). Pour ces trois dernières variétés, la contrainte appliquée sur les fruits a probablement entraîné une rupture importante du matériel cellulaire (rupture des parois et éclatement des cellules). A l'inverse, avec les variétés Belchard, Canada Grise et Royal Gala, la contrainte appli-

quée a entraîné une dégradation progressive des tissus majoritairement due à un décollement des cellules constitutives des tissus les unes par rapport aux autres. Les variétés Ariane, Fuji, Golden Delicious et Cripps Pink ont des valeurs intermédiaires de cohésion. Le «gommeux» a été défini par Bourne (2002) comme l'énergie requise pour déstructurer un aliment et le rendre prêt à être avalé. Ce paramètre a aussi permis de distinguer les variétés de pommes Belchard et Canada Grise des autres fruits. Avec des valeurs basses en gommeux, ces deux variétés peuvent être considérées comme des fruits ayant une texture molle associée à un mode de rupture des tissus par décollement intercellulaire, lors de la compression. A l'opposé, avec des valeurs de gommeux élevées, la texture des variétés Braeburn et Ariane s'est révélée ferme et croquante, associée à un mode de rupture des tissus par éclatement cellulaire. Les paramètres de double compression ont ainsi permis de mettre en évidence les propriétés rhéologiques différentes des pommes selon leur génotype. Les variétés Belchard et Canada Grise se sont distinguées par un caractère gommeux et une dureté faible, mais par des valeurs élevées de cohésion. Les variétés les plus fermes sont la Braeburn et l'Ariane, suivies par un groupe constitué des Fuji, Cripps Pink, Granny Smith et Royal Gala. Les variétés Cameo et Golden Delicious présentent des valeurs de dureté intermédiaire. Parmi tous ces fruits, la Royal Gala se démarque par son caractère cohésif élevé, ce qui n'est pas le cas de la Cameo. Il est nécessaire d'analyser les propriétés mécaniques des pommes 5^e gamme pour déterminer si l'effet variétal reste important et si la hiérarchie de fermeté est maintenue après transformation industrielle.

Tableau 2 | Propriétés mécaniques mesurées par double compression de 10 variétés de pommes fraîches (valeurs moyennes).

Variété	Paramètres							
	H ₁	H ₂	WH ₁	WH ₂	Grad ₁	Grad ₂	Cohésion	Gommeux
	(N)		(N, mm)		(N/mm)			
Ariane	134(±17) ^b	127(±16) ^b	44(±9) ^b	24(±4) ^b	78(±11) ^b	79(±11) ^b	0,55(±0,04) ^{cd}	73,9(±8,2) ^b
Belchard	34(±21) ^f	33(±20) ^f	5(±4) ^g	3(±3) ^g	36(±16) ^e	36(±16) ^e	0,63(±0,08) ^a	20,7(±12,4) ^g
Braeburn	152(±25) ^a	144(±24) ^a	51(±13) ^a	27(±5) ^a	85(±14) ^a	86(±14) ^a	0,53(±0,08) ^e	80,7(±14,9) ^a
Cameo	87(±22) ^e	83(±21) ^e	20(±10) ^{ef}	11(±5) ^f	61(±11) ^d	62(±11) ^d	0,53(±0,06) ^e	46,1(±11,9) ^f
Canada Grise	40(±26) ^f	38(±24) ^f	6(±8) ^g	5(±5) ^g	40(±19) ^e	39(±19) ^e	0,63(±0,07) ^a	24,6(±15,1) ^g
Fuji	105(±19) ^c	100(±18) ^c	30(±8) ^c	17(±3) ^c	62(±11) ^d	62(±11) ^d	0,57(±0,05) ^c	59,5(±8,1) ^c
Golden Delicious	86(±12) ^e	81(±11) ^e	21(±5) ^e	12(±2) ^e	61(±7) ^d	62(±7) ^d	0,57(±0,03) ^c	48,5(±6,1) ^f
Granny Smith	100(±13) ^{cd}	95(±12) ^d	26(±5) ^d	14(±3) ^d	68(±9) ^c	69(±9) ^c	0,53(±0,04) ^e	52,8(±6,5) ^e
Cripps Pink	101(±19) ^{cd}	96(±18) ^{cd}	22(±8) ^e	12(±4) ^e	71(±12) ^c	71(±12) ^c	0,56(±0,05) ^{cd}	56,1(±10,4) ^d
Royal Gala	98(±25) ^d	94(±23) ^d	19(±8) ^f	11(±4) ^{ef}	68(±16) ^c	68(±16) ^c	0,60(±0,06) ^b	58,5(±13,5) ^{cd}

Les lettres différentes signifient que le test LSD montre une différence significative entre les variétés au seuil de 5 % ; n = 1800.

Aptitude des 10 variétés de pommes à la transformation en 5^e gamme

Le tableau 3 récapitule les données sur les propriétés mécaniques des fruits 5e gamme. Pour caractériser ces pommes, 1440 mesures de double compression (8 variétés x 30 fruits x 6 répétitions) sont réalisées. Des analyses de variance à un facteur sont effectuées pour chaque paramètre textural sur l'ensemble des données. Les variétés Belchard et Canada grise n'ont pas pu être analysées car elles n'ont pas résisté au traitement thermique (transformées en purée lors de la cuisson). Les résultats montrent que, comme pour les fruits frais, l'effet variétal est hautement significatif sur les pommes 5^e gamme. La comparaison des valeurs numériques présentées dans les tableaux 2 et 3 montre d'abord que la résistance mécanique des fruits transformés est plus faible que celle des pommes fraîches. Globalement, les variétés Royal Gala, Cripps Pink et Cameo tolèrent le mieux les traitements thermiques, avec des valeurs de dureté H₁ supérieures à 2,2 N. Les variétés les moins résistantes à la transformation sont Braeburn, Granny Smith et Golden Delicious (tabl. 3). La figure 3 représente la classification des variétés de pommes en fonction de leur rang de dureté avant et après transformation. Le procédé de transformation modifie l'ordre hiérarchique existant avant la transformation. Ainsi, les variétés peuvent être classées en 3 catégories selon leur hiérarchie de dureté avant et après transformation : celles dont le rang reste inchangé, celles dont le rang augmente et enfin celles dont le rang diminue. Les pommes Belchard et Canada Grise appartiennent à la première catégorie; elles étaient les moins fermes à l'état frais et elles n'ont pas résisté au traitement thermique (transformées en purée). Ca-

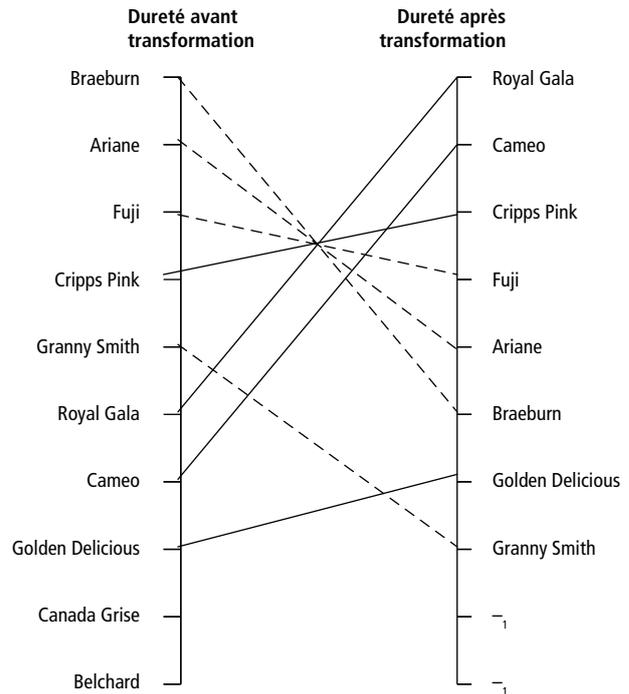


Figure 3 | Effet de la transformation 5^e gamme sur la classification de dureté mesurée après la première compression (H₁) pour 10 variétés de pommes. -1, pas de valeurs car les fruits n'ont pas résisté à la cuisson.

meo, Cripps Pink et Royal Gala appartiennent au second groupe car elles étaient caractérisées par une dureté moyenne à l'état frais et se sont révélées les plus fermes à l'état cuit. Braeburn et Ariane, les plus fermes à l'état frais, appartiennent au troisième groupe car elles ont mal résisté au procédé de transformation 5^e gamme (avec des valeurs de dureté préservées de 1,2 et 1,5 %). Le suivi des propriétés mécaniques des

Tableau 3 | Propriétés mécaniques mesurées par double compression de 8 variétés de pommes transformées (valeurs moyennes).

Variété	Type de produit	Paramètres						Cohésion	Gommeux
		H ₁	H ₂	WH ₁	WH ₂	Grad ₁	Grad ₂		
		(N)		(N, mm)		(N/mm)			
Braeburn	Fruit frais	305(±29) ^a	185(±62) ^a	781(±75) ^a	75(±21) ^a	128(±15) ^a	56(±12) ^a	0,097(±0,027) ^a	29(±9) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	15,0(±5,4) ^b	9,4(±4,6) ^d	23,9(±7,3) ^a	4,4(±1,5) ^b	4,3(±1,4) ^a	4,0(±1,5) ^b	0,190(±0,055) ^d	2,93(±1,5) ^d
Golden Delicious	Fruit frais	237(±25) ^a	180(±42) ^a	593(±60) ^a	69(±13) ^a	98(±10) ^a	55(±9) ^a	0,117(±0,023) ^a	28(±6) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	13,5(±3,9) ^c	10,8(±3,2) ^c	14,7(±4,3) ^c	4,3(±1,1) ^b	3,2(±0,9) ^b	3,2(±0,9) ^c	0,299(±0,049) ^b	4,00(±1,20) ^c
Granny Smith	Fruit frais	302(±24) ^a	234(±39) ^a	664(±64) ^a	109(±15) ^a	102(±8) ^a	73(±8) ^a	0,166(±0,026) ^a	50(±9) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	5,6(±1,6) ^d	4,1(±1,4) ^e	9,5(±2,6) ^d	2,5(±0,5) ^c	1,5(±0,5) ^c	1,4(±0,4) ^d	0,275(±0,060) ^c	1,53(±0,59) ^e
Cripps Pink	Fruit frais	257(±25) ^a	209(±25) ^a	646(±61) ^a	75(±10) ^a	115(±10) ^a	60(±8) ^a	0,117(±0,014) ^b	30(±5) ^b
	Fruit 5 ^e gamme	15,2(±5,1) ^b	12,6(±4,1) ^b	15,6(±5,6) ^c	5,8(±1,5) ^a	3,3(±1,3) ^b	3,2(±1,3) ^c	0,385(±0,060) ^a	5,74(±1,77) ^a
Royal Gala	Fruit frais	186(±44) ^a	55(±39) ^a	447(±105) ^a	32(±20) ^a	83(±14) ^a	23(±15) ^a	0,070(±0,036) ^a	13(±8) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	18,4(±5,9) ^a	13,9(±39) ^a	21,7(±8,4) ^b	5,9(±1,5) ^a	4,4(±1,6) ^a	4,4(±1,5) ^a	0,297(±0,081) ^b	5,30(±1,88) ^b

Les lettres différentes signifient que le test LSD montre une différence significative entre les variétés au seuil de 5 % ; n = 1440.

pommes avant et après transformation industrielle a clairement mis en évidence l'importance du choix variétal selon le type de procédé sélectionné. Par ailleurs, la résistance mécanique initiale des fruits (leur dureté) ne permet pas de prédire leur aptitude à la transformation. Cela est visible pour la variété Royal Gala qui, à l'état frais, a une dureté moyenne, et qui, après traitement thermique, est la plus résistante. Inversement, la Granny Smith, plutôt considérée comme une pomme ferme à l'état frais, n'a pas bien tolérée les procédés de transformation, et s'est retrouvée en bas de la classification après traitement thermique. En considérant ces résultats préliminaires, les 2 variétés les plus aptes à la transformation (Royal Gala et Cripps Pink) ont été sélectionnées, de même que 2 variétés habituellement utilisées pour ce type de transformation (Braeburn et Golden Delicious) et la variété pour laquelle les résultats obtenus ont été surprenants: la Granny Smith, afin de valider ces résultats.

Validation des résultats

Le tableau 4 récapitule les informations recueillies sur les propriétés mécaniques des 5 variétés de pommes fraîchement récoltées et transformées en 2007.

Bien que plus fermes qu'en 2006, les variétés analysées en 2007 gardent une hiérarchie comparable. En effet, à l'état frais, les fruits les plus résistants à la déformation sont les Braeburn, suivies des Granny Smith et Cripps Pink. Les pommes les moins résistantes sont les Royal Gala (tabl. 4). Contrairement à l'année précédente, en 2007 les Royal Gala sont moins résistantes à la déformation à l'état frais que les Golden Delicious. Cependant, malgré cette faible résistance à la déformation, la texture des pommes Royal Gala reste mieux

préservée que celle des autres variétés. Leurs degrés de duretés (initiale et résiduelle) sont les plus élevés. La variété Granny Smith fournit à nouveau des résultats non-satisfaisants car sa texture se dégrade. Les différentes aptitudes à la transformation observées entre les variétés pourraient être dues à la structure même des fruits, et notamment: la taille des cellules du parenchyme, les espaces intercellulaires, la teneur en gaz dans ces espaces et la pression de turgescence. Dobias *et al.* (2005) ont ainsi montré que, pendant la cuisson des pommes Golden Delicious, le gaz retenu dans les espaces intercellulaires et les gaz dissous se libèrent et sont en expansion. Ceci entraîne la rupture des structures cellulaires et donc, à échelle macroscopique, une chute importante de la fermeté des fruits. Reeve et Leinbach (1953) montrent par analyse microscopique que ces phénomènes sont plus ou moins dépendants de la variété de pomme. Dans la cuisson des carottes, Greve *et al.* (1994) ont observé que la perte de fermeté des tissus était liée à une diminution parallèle de la turgescence des cellules. Enfin, la résistance et l'élasticité même des parois cellulaires qui composent les tissus de ces fruits jouent probablement un rôle important dans la préservation de la structure du fruit, comme c'est le cas notamment dans le processus de maturation des fruits. Afin d'expliquer les variations observées et de trouver des marqueurs de l'aptitude à la transformation, de prochaines études sont envisagées pour comparer les différences structurales (macroscopiques et moléculaires) existant entre ces variétés à l'état frais et transformés.

Tableau 4 | Propriétés mécaniques mesurées par double compression de 5 variétés de pommes à l'état frais et transformé en fruits 5^e gamme (valeurs moyennes).

Variété	Type de produit	Paramètres							
		H ₁	H ₂	WH ₁	WH ₂	Grad ₁	Grad ₂	Cohésion	Gommeux
		(N)		(N, mm)		(N/mm)			
Braeburn	Fruit frais	305(±29) ^a	185(±62) ^a	781(±75) ^a	75(±21) ^a	128(±15) ^a	56(±12) ^a	0,097(±0,027) ^a	29(±9) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	15,0(±5,4) ^b	9,4(±4,6) ^d	23,9(±7,3) ^a	4,4(±1,5) ^b	4,3(±1,4) ^a	4,0(±1,5) ^b	0,190(±0,055) ^d	2,93(±1,5) ^d
Golden Delicious	Fruit frais	237(±25) ^a	180(±42) ^a	593(±60) ^a	69(±13) ^a	98(±10) ^a	55(±9) ^a	0,117(±0,023) ^a	28(±6) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	13,5(±3,9) ^c	10,8(±3,2) ^c	14,7(±4,3) ^c	4,3(±1,1) ^b	3,2(±0,9) ^b	3,2(±0,9) ^c	0,299(±0,049) ^b	4,00(±1,20) ^c
Granny Smith	Fruit frais	302(±24) ^a	234(±39) ^a	664(±64) ^a	109(±15) ^a	102(±8) ^a	73(±8) ^a	0,166(±0,026) ^a	50(±9) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	5,6(±1,6) ^d	4,1(±1,4) ^e	9,5(±2,6) ^d	2,5(±0,5) ^c	1,5(±0,5) ^c	1,4(±0,4) ^d	0,275(±0,060) ^c	1,53(±0,59) ^e
Cripps Pink	Fruit frais	257(±25) ^a	209(±25) ^a	646(±61) ^a	75(±10) ^a	115(±10) ^a	60(±8) ^a	0,117(±0,014) ^b	30(±5) ^b
	Fruit 5 ^e gamme	15,2(±5,1) ^b	12,6(±4,1) ^b	15,6(±5,6) ^c	5,8(±1,5) ^a	3,3(±1,3) ^b	3,2(±1,3) ^c	0,385(±0,060) ^a	5,74(±1,77) ^a
Royal Gala	Fruit frais	186(±44) ^a	55(±39) ^a	447(±105) ^a	32(±20) ^a	83(±14) ^a	23(±15) ^a	0,070(±0,036) ^a	13(±8) ^a
	Fruit 5 ^e gamme	18,4(±5,9) ^a	13,9(±39) ^a	21,7(±8,4) ^b	5,9(±1,5) ^a	4,4(±1,6) ^a	4,4(±1,5) ^a	0,297(±0,081) ^b	5,30(±1,88) ^b

Les lettres différentes signifient que le test LSD montre une différence significative entre les variétés au seuil de 5 %.

Conclusions

- La résistance du fruit à la déformation mécanique ne permet pas de prédire son aptitude à la transformation en 5^e gamme.
- Il est erroné de croire que les pommes les plus dures résistent mieux que les autres à des procédés de type 5^e gamme. Par ailleurs, bien que ces résultats ne soient pas présentés, des conclusions similaires ont pu être observées pour le procédé de transformation de pommes en spécialités fruitières (fruits en morceaux cuits).
- Il est donc recommandé aux industriels de ne pas orienter leur choix systématiquement vers des variétés telles que les Granny Smith, Braeburn et Golden Delicious, habituellement utilisées pour la transformation.
- Les résultats présentés ici portent principalement sur la texture des fruits, principal paramètre retenu (avec la couleur) dans les cahiers de charges des clients. En effet, les pommes doivent préserver leur aspect sans se décomposer en purée.
- Pour compléter l'étude, d'autres aspects qualitatifs des pommes ont été caractérisés : nutritionnels (préservation des fibres et des polyphénols) et organoleptiques (saveur, arôme, aspects, etc.). Ces résultats confidentiels restent pour le moment la propriété des industriels qui ont participé à l'étude.
- La suite du projet de recherche Nutripomme porte sur la recherche de marqueurs biochimiques qui pourraient permettre de prédire l'aptitude d'une variété à ce type de transformation. Parmi les marqueurs testés figurent les différents polysaccharides constitutifs des parois cellulaires des pommes.
- Il serait également intéressant d'approfondir cette étude en analysant le lien entre la matière première et les procédés utilisés, afin de trouver les paramètres de transformation optimaux correspondant à différents états physiologiques des fruits.
- Cette étude permet de conforter la pertinence de l'implantation de vergers dédiés à la transformation, plantés avec des variétés spécifiques et adaptées à la transformation. ■

Bibliographie

- Billy L., Mehinagic E., Royer G., Renard C., Arvisenet G., Prost C. & Jourjon F., 2008. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology* **47**, 315–324.
- Bourne M. C., 2002. Food texture and viscosity, concept and measurement, 2nd edition. London, Academic Press. Dobias J., Voldrich M. & Curda D., 2005. Heating of canned fruits and vegetables : Deaeration and texture changes. *Journal of Food Engineering* **77**, 421–425.
- Greve C. L., MacArdle R. N., Gohlke J. R. & Labavitch J. M., 1994. Impact of heating on Carrot Firmness: Changes in cell wall components. *J. Agric. Food Chem.* **42**, 2900–2906.
- Mehinagic E., Royer G., Symoneaux R., Bertrand D. & Jourjon F., 2004. Prediction of sensory quality of apples by physical measurements. *Postharvest Biology and Technology* **34**, 257–269.
- Reeve R. M. & Leinbach L. R., 1953. Histological investigations of texture in apples. I. Composition and influence of heat on structure. *Food Research* **18**, 592–603.
- Varela P., Salvador A. & Fiszman S., 2007. Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal of Food Engineering* **78** (2), 622–629.

Remerciements

Le travail a été mené avec le concours actif de la coopérative Rosée des Champs à Doué La Fontaine (49), avec le soutien financier du Conseil Régional des Pays de la Loire et l'aide du pôle de compétitivité Végépolys qui a permis la labellisation de ce projet.

■ **Summary** Aptitude to processing of apple fruits varieties

A good knowledge about the raw material characteristics and its effect on the final product is necessary to improve the quality of processed fruits. The aim of the present work is to study the impact of apples initial quality, and more particularly their mechanical properties, on their capacity to be processed in vacuum cooked fruits. In that order, 1 of the factors known to contribute to variations in fruit texture is tested: the choice of cultivar. The results show that the initial fruit firmness is not related to its ability to be processed, as the most resistant apples to the vacuum cooking were not the firmest ones. The varietal effect seems to be the most important factor. Two apple cultivars appeared to be particularly well adapted to this type of process: Royal Gala and Cripps Pink. Unlikely, in spite of its high firmness level, the Granny Smith cultivar did not resist to the thermal treatments applied during the process.

Key words: apple, texture, selection, processing.

■ **Zusammenfassung** Eignung der Apfelsorte zur industriellen Verarbeitung

Der Einfluss auf die Qualität der verarbeiteten Früchte verlangt gute Kenntnisse der Rohstoffe und der Auswirkungen, die diese auf das Endprodukt haben können. Das in diesem Artikel vorgestellte Ziel der Arbeit ist es, die Auswirkung der Qualität der Äpfel und besonders ihrer Textur auf ihre Fähigkeit in Früchte der 5. Kategorie (geschälte und dann im Vakuumverfahren gegarte Früchte) verarbeitet zu werden, zu studieren. Zu diesem Zweck sind zwei Auswirkungen, die stark mit den Variationen der Fruchtstruktur verbunden zu sein scheinen, getestet worden: Die der Sorte und die der längeren Lagerung in modifizierter Atmosphäre. Die Studie zeigt, dass die Wahl der für den Prozess geeigneten Sorte wesentlich ist, um ein verarbeitetes Produkt von befriedigender Qualität zu erhalten. Erstaunlich ist, dass die Festigkeit der frischen Früchte nicht eine Garantie für das Verhalten während des Verarbeitungsablaufs ist. So war zum Beispiel der Granny Smith gegenüber allen Erwartungen überhaupt nicht für diese Verarbeitung geeignet, trotz der hohen ursprünglichen Festigkeit. Die am besten geeigneten und vielversprechenden Sorten sind Royal Gala und Cripps Pink. Längere Lagerung scheint allerdings alle Sorten Äpfel empfindlich zu machen und somit auch weniger resistent beim Garen im Vakuumverfahren. Dennoch scheint wiederum die Apfelsorte Royal Gala besser die Lagerung zu überstehen und dabei eine akzeptable Textur zu bewahren.

■ **Riassunto** Attitudine delle varietà di mele per la trasformazione industriale

La gestione della qualità della frutta trasformata necessita una buona conoscenza della materia prima e del suo impatto sul prodotto finito. Questo articolo analizza l'impatto della qualità delle mele e in particolare della loro tessitura, sull'attitudine alla trasformazione in prodotti di V gamma (frutti sbucciati e poi cotti sotto vuoto). Per questo motivo, è stato testato uno dei fattori fortemente legato alle variazioni della tessitura dei frutti: la varietà. I risultati dello studio indicano che la scelta varietale è fondamentale per ottenere un prodotto trasformato di qualità soddisfacente. Infatti, la compattezza dei frutti freschi non permette di garantire la loro buona tenuta alla cottura durante la trasformazione. Contrariamente a tutte le aspettative, le Granny Smith, malgrado l'elevata compattezza iniziale, non si sono dimostrate adatte a questo tipo di trasformazione. Le varietà più promettenti sono Royal Gala e Cripps Pink.