

Maisons-Alfort, le 10 septembre 2007

AVIS

de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments sur les types de constituants glucidiques à introduire dans le dispositif de surveillance des compositions et des apports glucidiques

Rappel de la saisine

Par courrier reçu le 26 avril 2006, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) a été saisie le 24 avril 2006 par la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL), la Direction Générale de la Santé (DGS) et la Direction générale de la consommation, la concurrence et la répression des fraudes (Dgccrf), d'une demande d'appui scientifique et technique (AST) sur les types de constituants glucidiques à introduire dans le dispositif de surveillance des compositions et des apports glucidiques.

Contexte de la demande

En matière de recommandations nutritionnelles relatives aux glucides, trois axes sont déclinés à l'heure actuelle :

- favoriser la consommation des aliments sources de glucides complexes ;
- réduire la consommation de glucides simples ;
- favoriser la consommation de fibres.

Ces recommandations correspondent aux objectifs du Programme National Nutrition Santé (PNNS) et ont également été formulées par l'Afssa (Afssa 2004 a).

L'Afssa recommande, par ailleurs, la mise en œuvre d'études de suivi des teneurs de glucides dans les aliments de consommation courante, tant sur le plan qualitatif que quantitatif (Afssa 2004 a).

Dans ce contexte, un groupe de travail sur les glucides a été mis en place par la DGAL. Au sein de ce groupe de travail, l'Afssa a proposé la mise en place d'une étude examinant l'évolution des apports quantitatifs et qualitatifs en glucides et en fibres de la population, et l'évolution de l'offre des produits en ce qui concerne la composition en glucides, et notamment en glucides simples dits « ajoutés » lors des procédés de fabrication.

Questions posées

1. Quels sont les glucides (et fibres) concernés par les recommandations de l'Afssa ?
2. Quelles sont les analyses des glucides et des fibres qui doivent être réalisées, en prenant en compte les constituants dont la consommation devrait augmenter ou diminuer, selon les recommandations ?
3. Comment distinguer, par une procédure analytique ou par une définition précise, les glucides simples « intrinsèques » aux ingrédients de base, des glucides simples « ajoutés » ?
4. Quelles possibilités de substitution des glucides simples ajoutés en formulation faut-il recommander ; et quels risques de dérive dans la formulation doit-on prévenir et/ou contrôler ?

Méthode d'expertise

Après consultation du Comité d'experts « Nutrition humaine », réuni le 28 septembre et le 23 novembre 2006, l'Afssa rend l'avis suivant :

1. Définition des glucides

Les glucides sont des polyalcools comportant une fonction aldéhyde (CHO) ou cétone (CO). La plupart des glucides répondent à la formule brute $(CH_2O)_n$ avec $n \geq 3$.

Les glucides sont généralement classés en fonction de leur degré de polymérisation (DP) : monosaccharides (DP=1), disaccharides (DP=2), oligosaccharides ($2 < DP < 10$) et polysaccharides ($DP \geq 10$).

L'Afssa (Afssa, 2004 a) retient par ailleurs la distinction entre glucides simples (mono et disaccharides) et glucides complexes.

D'un point de vue réglementaire, le terme « glucides » englobe tous les glucides métabolisés par l'homme, y compris les polyols ; et la dénomination « sucres » correspond à tous les monosaccharides et les disaccharides présents dans un aliment à l'exclusion des polyols¹.

2. Données de consommation et de composition

2.1 Tendances de consommation²

D'après l'enquête CCAF (Comportement et Consommations Alimentaires des Français) réalisée en 2004 par le CREDOC (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie), le français adulte ingère en moyenne 45 % de son apport énergétique sous forme de glucides (dont 36 % de glucides simples), et l'enfant 49,7 % (dont 45 % de glucides simples).

La comparaison des résultats issus des enquêtes ASPCC (Association Sucre-Produits sucrés, Consommation, Communication) en 1994, INCA (enquête Individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires) en 1999, et CCAF en 2004 montre que la part globale d'énergie apportée sous forme de glucides s'est accrue entre 1994 et 2003 chez les enfants et les adultes ; tandis que la part des glucides simples dans l'apport glucidique total a sensiblement diminué entre 1999 et 2003. Il faut cependant souligner que des différences méthodologiques entre ces enquêtes imposent de ne pas tirer de conclusions hâtives sur les tendances indiquées par ces données. En effet, l'Afssa (Afssa, 2004 a) mentionnait, sur la base des études ASPCC et INCA, que « les apports de glucides simples sont en hausse [...] et la proportion des glucides simples dans les apports énergétiques augmente ». Il y a donc eu une légère inflexion de la consommation de glucides simples des français entre l'étude INCA et l'étude CCAF (données non disponibles lors de la parution du rapport).

Les conclusions de l'enquête CCAF (2004) confirment une tendance déjà observée auparavant, à savoir une contribution des glucides simples aux apports énergétiques sans alcool (AESA) plus élevée chez les femmes que chez les hommes adultes (ce qui n'est pas le cas chez les enfants).

Les aliments qui contribuent le plus aux apports en glucides simples chez les enfants et les adultes, d'après les données de cette enquête, sont présentés dans le Tableau 1.

Groupes d'aliments	Enfants	Adultes
Sucre, confiture, miel, sirop...	6,6	15,9
Chocolat, barres chocolatées, Confiseries	5,9 + 1,9 = 7,8	2,2 + <1,8**
Pâtisseries, biscuits sucrés	7,0 + 4,0 = 11,0	8,2 + 2,0 = 10,2
Glaces, sorbets, barres glacées	2,4	<1,8**
Céréales du petit-déjeuner	6,7	<1,8**

¹ Décret n°93/1130 du 27 septembre 1993, articles 4.IIIb et c concernant l'étiquetage relatif aux qualités nutritionnelles des denrées alimentaires

² Données issues d'une communication ASPCC-CREDOC dans le cadre d'une réunion du groupe de travail glucides piloté par la DGAL

Groupes d'aliments	Enfants	Adultes
Pains, biscottes	<1,9**	4,2
Boissons sucrées (Jus de fruits et nectars, Sodas)	10,1 + 8,5 = 18,6 sodas : 13,6% pour les 15-20 ans	4,5 + 5,5 = 10,0
Boissons chaudes	5,3	3,8
Lait, Yaourts et laits fermentés, Yaourts à boire et actimel	4,7 + 7,9 + 2,2 = 14,8	<1,8** + 7,0 + <1,8**
Crèmes dessert et flans, Riz au lait, mousse, clafoutis, tiramisu...	3,1 + <1,9**	3,2 + 2,0 = 5,2
Soupes	<1,9**	2,1
Fruits frais, Légumes (hors pommes de terre)	8,4 + 2,1 = 10,5	15,8 + 4,0 = 19,8
Compotes et fruits cuits	2,4	1,8
Plats composés	2,2	3,8
Boissons alcoolisées		3,3
Glucides simples totaux** (Somme des contributions/GST***)	(≥)91,4/104***	(≥)89,3/86***
<i>Pour un apport énergétique moyen kcal/j*</i>	<i>1864</i>	<i>2171</i>

Tableau 1 : Contribution des principaux groupes d'aliments consommés aux apports journaliers de glucides simples chez les enfants et les adultes (% des apports totaux de glucides simples) (selon l'enquête Credoc-CCAF – 2004)

* Enquête Credoc/CCAF, 2003/2004

** Les données sur ces aliments n'ont pas été fournies dans la présentation ASPCC-CREDOC. Ces aliments ne font pas partie des (18 pour les enfants et 17 pour les adultes) principaux vecteurs de glucides simples pour les enfants et pour les adultes ; les chiffres 1,9 (pour les enfants) et 1,8 (pour les adultes) sont les contributions des aliments représentant les plus faibles contributions à l'apport en glucides simples pour les enfants et les adultes, respectivement ;

*** Ces chiffres sont ceux de la consommation moyenne en glucides simples totaux pour un apport énergétique moyen de 1864 kcal/j (pour les enfants) et de 2171 kcal/g (pour les adultes)

L'Afssa note toutefois, pour la population adulte, une apparente incohérence entre ces chiffres et ceux calculés à partir des contributions des aliments aux apports en glucides simples.

2.2 Contenus en glucides simples des principaux groupes d'aliments glucidiques

Les données présentées dans la partie ci-dessous proviennent de celles communiquées par les industriels des différents secteurs impliqués, dans le cadre du groupe de travail glucides piloté par la DGAL.

Dans les **biscottes et produits de panification**, 2 814 tonnes de saccharose ont été utilisées en 2004, contre 42 tonnes de sirops de glucose et isoglucose, 87 tonnes de sirops divers (sucre inverti et mélanges de sucres), 292 tonnes d'autres « sucres » (incluant dextrose, glucose, maltose, fructose et maltodextrines), 52 tonnes de miel et 18 tonnes de polyols. Par ailleurs, le taux d'incorporation moyen du saccharose dans les produits de panification et les biscottes est de 5 kg pour 100 kg de farine.

Les **biscuits** contiennent en moyenne 43 % de céréales et 24 % de matières sucrantes. Ces matières sucrantes se répartissent en 75% de saccharose, 18% de sirop de glucose et isoglucose, 4% d'autres « sucres », 1% de sirops divers, 1% de polyols et des quantités très faibles de miel. Le taux de glucides simples dans la composition des biscuits varie d'un produit à l'autre. Ainsi entre les biscuits secs et les biscuits moelleux, le rapport moyen glucides simples/amidon s'échelonne entre 0,44 et 4,77.

Les **céréales pour petit déjeuner** contiennent en moyenne 62 % de céréales et 24 % de matières sucrantes qui se répartissent en : 93 % de saccharose, 4 % de miel et 3 % de sirops de glucose et isoglucose. Les rapports glucides simples/amidons sont respectivement de 0,03 et 0,11 pour les flocons d'avoine et les pétales de maïs et peuvent dépasser 0,7 pour la plupart des céréales destinées plus spécifiquement aux enfants (céréales chocolatées, au miel, au caramel, fourrées au chocolat...).

Le **chocolat** contribue respectivement à 5,4 et 2,1 % des apports quotidiens en glucides simples chez les enfants et les adultes.

En moyenne, le chocolat noir et le chocolat au lait contiennent 48 % de produits à base de cacao et 34 % de matières sucrantes (dont 89 % de saccharose, 8 % de sirops de glucose et isoglucose et 3 % d'« autres sucres »). La teneur en glucides du chocolat varie entre 28 g/100 g pour le chocolat

noir et 66 g/100 g pour les barres au chocolat. La majorité de ces aliments a une teneur en glucides supérieure à 50 %. Le chocolat étant un aliment contenant peu d'eau et relativement peu de protéines (entre 5,6 et 10 g/100 g), les chocolats les moins riches en glucides sont les plus riches en lipides ; c'est le cas du chocolat noir qui en contient 45,4 g. En dehors des barres chocolatées, la plupart des chocolats contient plus de 30 g de lipides par 100 g. L'emploi d'édulcorants de charge (polyols) et d'édulcorants intenses est autorisé dans les chocolats « sans sucres ajoutés » et « à teneur énergétique réduite ».

La **confiserie** représente, en moyenne, une contribution limitée à l'apport en glucides simples des adultes (0,6 g/j) et des enfants (2,5 g/j). Parmi les enfants, les forts consommateurs de confiserie consomment en moyenne 2 bonbons par jour. Les matières sucrantes représentent en moyenne 76 % de ces produits, et sont constituées pour 45 % de saccharose, 37 % de sirops de glucose et isoglucose, 10 % de miel, 5 % d'autres glucides simples et 3 % de sirops divers.

Les confiseries « sans sucre » sont en plein essor. En grande distribution, la part du « sans sucre » représente 91 % des ventes de chewing-gum et 60 % de celles de petites confiseries de poche. Dans ces produits, les glucides simples sont principalement remplacés par des polyols et des édulcorants intenses. Leur valeur énergétique est sensiblement plus faible (228 kcal/100 g) que celle des confiseries classiques (379 kcal/100 g). Ces confiseries sont de taille réduite par rapport aux produits classiques. Chaque « portion » a donc une faible valeur énergétique (de l'ordre de 1 kcal).

Parmi l'ensemble des **produits d'origine laitière**, 17 % ne contiennent aucun glucide simple : il s'agit du beurre et des fromages affinés (dépourvus de lactose après fermentation). Le lait et la crème (55 % des produits laitiers) ne contiennent, en matière de glucides, que du lactose. Dans le groupe « produits laitiers frais » (28 % des produits d'origine laitière), comprenant des yaourts et autres laits fermentés frais, des fromages frais et des crèmes dessert, 39 % des produits ne contiennent que du lactose (yaourt nature, petit suisse..) et 61 % contiennent également des matières sucrantes ajoutées. Au total, seuls 17 % des produits d'origine laitière contiennent des matières sucrantes ajoutées. Les yaourts et laits fermentés représentent le 4^{ème} contributeur aux apports en glucides simples chez les enfants et les adultes. Les crèmes dessert et flans ainsi que les yaourts à boire se situent respectivement aux 12^{ème} et 16^{ème} rangs des produits les plus contributeurs aux apports en glucides simples (Source CCAF, 2004).

Le lait, qui constitue la base de fabrication des produits laitiers, apporte du lactose, seul glucide simple présent dans les variétés nature (3 à 4 g/100 g dans le produit fini). Les fruits ajoutés à certains yaourts et laits fermentés apportent également des glucides simples (fructose, notamment) mais en faible quantité. Le saccharose est le principal glucide simple ajouté aux produits laitiers « sucrés ». Néanmoins, selon leurs propriétés technologiques, et en fonction des besoins des recettes, le glucose et le fructose, ou encore des sirops de glucose ou de fructose, peuvent être employés.

Les **boissons sucrées** constituent une source importante de glucides simples, particulièrement chez les enfants. Ces boissons comprennent d'une part les jus de fruits et les nectars, d'autre part les boissons rafraîchissantes sans alcool. Les boissons rafraîchissantes sans alcool (BRSA) contiennent, selon le Syndicat National des Boissons Rafraîchissantes, de 8 à 12 g/100 mL de glucides simples (généralement du saccharose) et les jus de fruits de 8 à 15 g/100 mL (moyenne de 10 g/100 mL, d'après Table REGAL, Favier *et al.*, 1995), et les nectars, de 10 à 16 g/100 mL (moyenne de 13 g/100 mL, d'après Table REGAL, Favier *et al.*, 1995). Les BRSA « light » ne contiennent pas de glucides simples ajoutés mais des édulcorants intenses. Les boissons rafraîchissantes sans alcool représentent 11 % du total des boissons consommées en France, à l'exclusion de l'eau du robinet. Depuis quelques années, apparaissent sur le marché des boissons contenant des édulcorants intenses (en plus faible quantité que les boissons « light ») et de faibles quantités de sucres.

Les **fruits frais** contiennent pour la plupart de 5 à 20 % de glucides simples (Shallenberger, 1974). La pomme crue (avec peau) contient environ 10,4 g de sucres totaux dont 5,9 g de fructose, 2,4 g de glucose et 2,1 g de saccharose (USDA, 2005). Le glucide simple dominant varie en fonction des espèces et des variétés. Ainsi, le saccharose est dominant dans l'abricot et la pêche tandis que le fructose l'est dans la pomme, le raisin, la poire la cerise et la fraise. Le glucose est également abondant dans le raisin, la cerise et la fraise (Shallenberger, 1974).

Les **confitures, compotes et conserves de fruits** contiennent les glucides simples intrinsèques du fruit (majoritairement du fructose, du saccharose et du glucose mais également d'autres glucides simples mineurs tels que le maltose) et des glucides simples ajoutés, à l'exception des purées de

fruits et des conserves de fruits « au naturel ». Le pourcentage de glucides simples varie de moins de 16 % pour les purées de fruits légèrement sucrées à plus de 60 % pour les confitures, les compotes comportant de 24 à 40 % de glucides simples. Les « sucres simples ajoutés » sont suivant les produits, du saccharose, des sirops de glucose-fructose, de glucose, de fructose ou du dextrose.

Le saccharose reste, à ce jour, la principale matière sucrante consommée par les français.

2.3 Matières sucrantes de nature glucidique et édulcorants

L'industrie agroalimentaire (IAA) utilise le saccharose et les sirops produits à partir de l'hydrolyse de matières amylacées comme principales matières sucrantes.

La substitution partielle du saccharose par ces produits issus de l'hydrolyse de l'amidon est liée, en général, à leurs avantages techno-fonctionnels. Le paramètre « coût » peut également expliquer certaines des substitutions, le saccharose étant environ 2 fois plus coûteux que le sirop de glucose. Toutefois, ces matières sucrantes demeurent encore minoritaires dans la composition des aliments sucrés.

Par ailleurs, on observe un développement croissant de l'utilisation des édulcorants intenses, éventuellement associés à des agents de charge, et d'autres substances présentées dans le tableau 2. Parmi celles-ci, on trouve des matières sucrantes issues de produits végétaux, servant notamment à l'édulcoration des boissons spiritueuses, telles que le moût de raisin frais ou concentré, le moût de raisin concentré rectifié, ou encore le sirop de caroube.

Matière sucrante	Pouvoir sucrant	Index glycémique*	Nature chimique
Lactose	30	46±2	Galactose β 1-4 glucose
Sirop de glucose	50-60		Glucose, fructose, maltose (>10%) et DP>2 ; DP>10 (<40%)
Dextrose	70	100	Glucose pur obtenu par hydrolyse d'amidon
Maltose	36-57	105	Glucose α 1-4 glucose
Maltotriose	≈0,25	?	(Glucose) ₃ ; α 1-4
Glucose-fructose	75		
Isoglucose (42 % ou 55 % de fructose)	# 90-100		Glucose, fructose (>10% des glucides totaux)
Saccharose	100	68±5	Glucose α 1-2 fructose
Fructose	130	19±2	
Maltodextrines	# 0		(Glucose) _n ; α 1-4 et α 1-6
Miel	69.2±8.1-74.1±8.2**	73	Fructose, glucose (2 principaux sucres), maltose, saccharose et autres composés
Xylitol (E967)	≈100	8***	HO-CH ₂ -(CHOH) ₃ -CH ₂ -OH
Mannitol (E421)	≈50	≈ 0	HO-CH ₂ -(CHOH) ₄ -CH ₂ -OH
Sorbitol (E420)	≈50	≈ 0	HO-CH ₂ -(CHOH) ₄ -CH ₂ -OH
Isomalt (E953)	≈50	≈ 0	Glucose α 1-6 sorbitol (ou mannitol)
Lactitol (E966)	≈40	2***	Galactose β 1-4 sorbitol
Fructooligosaccharides (FOS)	# 0	0	(Glucose) _n -(Fructose) _n ; α 1-4 et α 1-6 ; n'=1 ou 0 ; n=2 à 4 et n'=1 pour FOS synthétiques et n=2 à 10 avec moyenne de 4 et n'=0 pour FOS dérivés de l'inuline
Acésulfame de potassium (K) (E 950)	13000-20000	0	Dihydro-oxathiazine-dioxyde
Aspartame (E 951)	# 20000	0	Aspartylphénylalanylméthyl ester
Cyclamate (E952)	3000-5000	0	Cyclohexylsulfamate de Ca ou de Na
Néotame	700000-	0	Ester monométhylrique du N-(3,3-

Matière sucrante	Pouvoir sucrant	Index glycémique*	Nature chimique
	1300000		diméthylbutyl)-L-aspartyl-L-phénylalanine
Néohespéridine dihydrochalcone (DC) (E 959)	40000-60000	0	Dihydrochalcone flavanone
Saccharine (E954)	30000-50000	0	Acide ortho-sulfimide benzoïque
Sucralose (E 955)	60000	0	Dérivé chloré du saccharose - Formule chimique : C ₁₂ H ₁₉ Cl ₃ O ₈
Thaumatine (E 957)	200000-300000	0	Mélange de deux protéines isolées d'un fruit tropical africain

Tableau 2. Pouvoir sucrant et index glycémique de quelques matières sucrantes de nature glucidique et édulcorants intenses

*IG : référence 100 pour le glucose pur

** Ischayek & Kern, 2006

*** Foster-Powell *et al.*, 2002 ; Natah *et al.*, 1997

en italique : substances glucidiques non ou très peu sucrantes

Saccharose

La principale matière sucrante utilisée en alimentation humaine est encore, et de très loin, le saccharose (dénommé « sucre » par les consommateurs et industriels). Il a pour origine la betterave ou la canne à sucre qui représentaient en 2000 et en 2001, respectivement 30 et 70 % de la production mondiale de saccharose.

Le saccharose est un ingrédient sucrant majeur de l'industrie agroalimentaire, et il joue de nombreux rôles technologiques et fonctionnels des aliments tels que les viennoiseries, les céréales du petit déjeuner, la chocolaterie, etc. Il est, par ailleurs un support de saveurs, permet la réaction de Maillard ou la conservation des produits finis.

Glucose (ou dextrose)

Le glucose est un substrat énergétique indispensable à de nombreux organes. Son absorption est rapide et s'accompagne d'une sécrétion d'insuline presque simultanée à l'élévation de la glycémie. Le glucose absorbé a pour origine le glucose libre de l'alimentation, le saccharose et le maltose (2 glucides hydrolysés au niveau de la bordure en brosse intestinale) mais également l'amidon et les maltodextrines (elles-mêmes issues de l'amidon).

Le dextrose est du glucose pur obtenu par hydrolyse complète de l'amidon. Son degré de polymérisation est donc de 1 tandis que son « dextrose équivalent » (DE) est de 100. Le dextrose présenté sous forme anhydre ou monohydrate (1 molécule d'eau par molécule de glucose) est utilisé notamment en boulangerie-pâtisserie ou dans la fabrication des crèmes glacées. Plus hygroscopique que le saccharose, le dextrose est plus fréquemment utilisé dans les produits moelleux. Son pouvoir sucrant est toutefois inférieur à celui du saccharose, et il induit par ailleurs une sensation de fraîcheur en bouche.

Fructose (ou lévulose)

Le fructose est le sucre dominant des fruits pris dans leur ensemble. Il est particulièrement abondant dans certaines espèces telles que la pomme. Cependant la teneur en fructose du fruit dépend du stade de maturation et peut varier également avec les conditions climatiques précédant la récolte. Le fructose est par ailleurs le principal sucre du miel, devant le glucose.

Ce sucre présente un faible index glycémique et un plus grand pouvoir sucrant par rapport au saccharose. C'est la raison pour laquelle il peut être proposé comme substitut du saccharose dans l'alimentation des diabétiques. Toutefois, dans l'état actuel des connaissances, il semble que la substitution du saccharose par du fructose offre un bénéfice modeste sur l'équilibre glycémique, sans altérer le profil lipidique (Thissen & Hermans, 2002).

De plus, la consommation de fructose en excès, sans qu'il soit possible de définir une dose précise qui dépend de la susceptibilité individuelle, peut induire une élévation de la cholestérolémie et/ou de la triglycéridémie.

Lactose

Le lactose, glucide d'origine animale, est peu sucrant par rapport au saccharose. Il n'est pas utilisé comme matière sucrante dans les aliments par les industriels.

Sirops de glucose et sirops de glucose-fructose ou isoglucose

Ces sirops sont obtenus à partir d'un lait d'amidon qui subit successivement une liquéfaction, une saccharification, une isomérisation (pour les sirops contenant du fructose), plusieurs phases de purification, puis une concentration suivie d'un séchage. Ces sirops se caractérisent par :

- leur « dextrose équivalent » (DE) qui traduit le degré d'hydrolyse de l'amidon. Plus l'hydrolyse est poussée, plus il y a de dextrose (glucose) libre et donc, plus le DE est élevé ;
- leur profil glucidique, et en particulier leur teneur en fructose. Le fructose des sirops de glucose-fructose (dont les isoglucoses) est obtenu par isomérisation du glucose mais peut l'être également par incorporation d'autres sucres (saccharose ou sirop de fructose) ;
- leurs propriétés fonctionnelles intéressantes : une moindre tendance à la cristallisation par rapport au saccharose et une plus grande résistance à la dessiccation.

Les **sirops de glucose** sont constitués de glucose (DP 1), fructose (DP 1), maltose (DP 2) et polymères de glucose de DP supérieurs. La proportion de molécules de DP 1 et 2 est supérieure à 10 % des glucides totaux, tandis que les polymères de glucose de DP>10 ne dépassent pas 40 % des glucides totaux. Le DE des sirops de glucose est strictement compris entre 20 et 100.

En deçà d'un DE de 20, les produits d'hydrolyse de l'amidon sont appelés **maltodextrines**. Elles n'ont aucun pouvoir sucrant mais peuvent jouer le rôle de substance de charge en présence d'édulcorants intenses. Elles sont constituées de 1 à 9 % de molécules de DP 1 et 2 et de 40 à 99 % de molécules de DP>10. Selon Macdonald & Williams (1988), les maltodextrines (DE 5 à 20) sont aussi hyperglycémiantes que du glucose ou du maltose. Les réponses insuliniques sont dose-dépendantes. Les propriétés fonctionnelles des sirops de glucose varient en fonction de leur DE. Comme le saccharose, ils favorisent le brunissement et améliorent la friabilité. Par ailleurs, certaines propriétés techno-fonctionnelles des sirops de glucose se distinguent de celles du saccharose : ils modulent la saveur sucrée, empêchent la cristallisation du saccharose, améliorent le moelleux du fourrage, ou encore amènent de la cohésion.

Dans l'**isoglucose**, une partie du glucose a été transformée en fructose par isomérisation. Son DE est compris entre 60 et 100. Principalement utilisé dans les boissons sans alcool, il est également appelé « sirop de glucose à haute teneur en fructose » ou « sirop riche en fructose », ou « sirop de glucose-fructose ». Selon la réglementation, sa teneur en fructose doit être supérieure à 10 % des glucides totaux. Sa production est limitée à des quotas (507 680 T au niveau européen, contre 17 440 537 T pour le saccharose et 320 718 T pour le sirop d'inuline).

L'isoglucose est utilisé pour ses propriétés fonctionnelles et son pouvoir sucrant proche de celui du saccharose.

La production des produits d'hydrolyse de l'amidon (sirops de glucose, dextrose, maltodextrines, isoglucose et mélanges glucose-fructose), stable (de l'ordre de 335 000 T) jusqu'en 1997, s'est significativement accrue en 1998 (391 000 T) puis en 2000 (421 000 T) pour se stabiliser depuis³.

Sucre inverti

Le sucre inverti est obtenu par hydrolyse totale ou partielle du saccharose avec l'invertase. Il est donc constitué de glucose/fructose (50/50) ou de mélanges ternaires de saccharose/glucose/fructose. Il évite la dessiccation des sirops, des pâtes et des fondants (fourrages). Son devenir métabolique est celui des glucides simples dont il est constitué.

Miel, jus de fruits concentré, préparation de fruits

Le **miel** est majoritairement constitué de glucides simples : 76 % sur matière fraîche, soit 95 % sur matière sèche, selon la table REGAL (1995). Il s'agit principalement de fructose et de glucose (environ 38 et 31 % de la matière fraîche) mais également de maltose (7 %) et de saccharose (environ 1 %). En dehors des glucides simples, il contient des glucides de plus gros poids moléculaires, une très faible quantité de protéides, dont des acides aminés libres, des minéraux (0,3 % environ), des vitamines, des lipides (triglycérides et acides gras, dont acides palmitique, oléique et linoléique), des oligoéléments et de nombreuses autres substances (environ 200

³ D'après l'Association des Amidonniers de Céréales de l'UE, données disponibles jusqu'en 2004

composés différents) en quantité infinitésimale. Il contient des substances bactériostatiques et d'autres substances dont l'activité biologique est mise en avant par les producteurs de miel, telles que des flavonoïdes ou des composés phénoliques. Sa teneur en saccharose et en eau influe sur sa cristallisation.

Les **jus de fruits concentrés** sont également des matières sucrantes puisque la pulpe de fruit contient, suivant les fruits, au moins 75 % de glucides simples et jusqu'à 85 % par rapport à la matière sèche du fruit. Les glucides les plus présents dans les fruits sont le glucose, le fructose et le saccharose mais leurs proportions respectives varient d'une espèce à l'autre et en fonction du degré de maturité du fruit. Ainsi la pomme contient environ 2 fois plus de fructose que de chacun des autres sucres (5,6 % de fructose, 1,83 % de glucose et 2,66 % de saccharose, d'après Li *et al.*, 2002), alors que l'orange contient plus de saccharose (4,46 g/100 g) que de fructose (2 g/100 g) et de glucose (1,88 g/100 g). Le raisin blanc ne contient, au moins dans certaines variétés, que très peu de saccharose mais autant de glucose que de fructose (Li *et al.*, 2002). A l'inverse, d'autres espèces (mangues, carottes) contiennent presque exclusivement du saccharose. Dans une étude portant sur des fruits originaires de Hong Kong (58 espèces différentes), le ratio glucose/fructose varie entre 0,36 et 2,16 (Ko *et al.*, 1998).

D'autres **préparations de fruits** sont de plus en plus utilisées par les industriels suite aux recommandations visant à diminuer les glucides simples ajoutés. Ainsi, suivant leur formulation, ces préparations contiennent uniquement les glucides simples des fruits utilisés ou ces derniers et d'autres matières sucrantes. Les fruits étant très riches en eau, les cuissons concentrent la pulpe et les glucides intrinsèques mais également tous les glucides simples éventuellement ajoutés.

Le **moût de raisin concentré rectifié** est défini par le règlement CEE n° 1493/99. Il se présente sous la forme d'un sirop de glucose et de fructose naturel et incolore. Sa teneur en glucides simples dépasse 65 % de la matière fraîche. Il apporte, en dehors des glucides simples, des composés non glucidiques tels que des polyphénols.

Polyols ou sucres alcool

Six polyols sont autorisés en tant qu'additifs dans l'alimentation humaine (Directive Européenne 94/35/CE) : le sorbitol, le mannitol, le xylitol, le maltitol, le lactitol et l'isomalt. Les valeurs énergétiques diffèrent d'un polyol à l'autre (entre 8,5 et 17 kJ/g), mais pour faciliter l'étiquetage nutritionnel, la CEE a fixé une valeur moyenne de 10 kJ/g pour tous les polyols contre 16,72 kJ/g pour le saccharose. Ils ont un index glycémique très faible ou nul et présentent donc un certain intérêt chez les diabétiques (Natah *et al.*, 1997). Ils sont également moins cariogènes que le saccharose, les dérivés de l'amidon ou le fructose. Leur bénéfice est toutefois limité par des effets secondaires (laxatif) à dose élevée (Thissen & Hermans, 2002). Leur dose d'emploi n'est pas limitée (sur la base du principe *quantum satis*) mais leur usage est limité à certaines denrées. Leur usage n'est pas permis dans les aliments destinés aux enfants de moins de 3 ans et dans les boissons. Enfin l'étiquetage doit mentionner qu'« une consommation excessive peut avoir des effets laxatifs ».

Edulcorants intenses ou édulcorants de synthèse

Les édulcorants sont des additifs alimentaires utilisés pour donner une saveur sucrée aux denrées alimentaires. Leur utilisation est réglementée dans la directive européenne 94/35/CE transposée en droit français par l'arrêté du 2 octobre 1997. La présence d'un édulcorant dans une denrée alimentaire est autorisée s'il s'agit :

- d'une denrée alimentaire « sans sucres ajoutés », c'est-à-dire sans aucune adjonction de glucide de DP 1 et 2 ni de quelque denrée sucrante que ce soit ;
- d'une denrée alimentaire « à valeur énergétique réduite », c'est-à-dire dont la valeur énergétique est réduite d'au moins 30% par rapport à la denrée d'origine ou à un produit similaire ;
- de denrées destinées à une alimentation particulière (DDAP) au sens du décret du 29 août 1991.

La réglementation les autorise dans les chocolats et les confiseries. A ce jour, la biscuiterie, la panification et les céréales pour petit-déjeuner ne peuvent les utiliser que dans certains aliments, notamment les desserts à base de céréales et céréales pour petit déjeuner à teneur en fibres d'au moins 15 %, à valeur énergétique réduite ou « sans sucres ajoutés », les produits de boulangerie fine destinés à une alimentation particulière et les biscuits apéritif à base d'amidon.

Les édulcorants intenses dont les plus connus sont l'aspartame, acésulfame K ou la saccharine ont un pouvoir sucrant beaucoup plus élevé que les matières sucrantes de nature glucidique. Lorsqu'ils se substituent à ces composés caloriques, ils sont ajoutés en très petite quantité et généralement associés à une substance de charge « neutre » d'un point de vue organoleptique mais apportant du volume. Ces substances de charge n'ont pas de pouvoir sucrant et lorsqu'elles sont de nature glucidique, elles peuvent être peu ou pas caloriques (polydextrose, cellulose) ou aussi caloriques que les matières sucrantes de nature glucidique (maltodextrines).

Sous l'appellation « édulcorants intenses » sont regroupés des produits très divers, d'origine végétale ou obtenus par synthèse chimique, et dont le pouvoir sucrant est de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de fois celui du saccharose. Additionnés en faibles quantités, ils apportent la saveur sucrée recherchée mais ne fournissent pas de charge ni d'effet texturant. En dehors des boissons, où l'eau constitue la « charge », la plupart des applications alimentaires requièrent l'emploi d'agents de masse en complément des édulcorants intenses. A l'image des polyols, certains édulcorants intenses sont autorisés en Europe dans l'alimentation humaine en tant qu'additifs (Directive Européenne sur les édulcorants 94/35/CE, voir tableau 3) : l'aspartame, l'acésulfame de potassium, la saccharine et ses sels, l'acide cyclamique et ses sels, la thaumatine, la néohespéride dihydrochalcone, le sucralose et le sel d'aspartame-acésulfame. Leur dose d'emploi est fixée à une valeur maximale variable selon l'édulcorant considéré et la catégorie d'aliments. Les industriels utilisent de plus en plus des mélanges de 2, voire 3 édulcorants différents qui agissent en synergie, et dont l'association permet d'obtenir la saveur sucrée, la stabilité et la solubilité recherchées.

Edulcorant	DJA* (mg/kg de poids corporel)	Valeur calorique	Risques potentiels
Acésulfame K (E 950)	0-9	0	
Aspartame (E 951)	40	#0	Pour les sujets phénylcétonuriques
Cyclamate (E 952)	7	0	
Néohesperidine DC (E959)	0-5	0	
Néotame**	0,6***	0	
Saccharine (E954)	5	0	
Sucralose (E 955)	0-15	0	
Thaumatine (E 957)	Non spécifiée****	#0	

Tableau 3. Edulcorants intenses approuvés par l'Union Européenne

* Dose Journalière Acceptable fixée par le JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)

** Cet édulcorant n'a pas encore été autorisé dans l'union européenne

*** La dose Journalière Acceptable fixée par le JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) est de 2 mg/kg pc. La dose journalière acceptable provisoire de 0,6 mg/kg pc a été établie par l'Afssa.

**** D'après le Scientific Committee on Food (SCF) de la Commission Européenne

L'aspartame est un dipeptide synthétique estérifié (aspartylphénylalanilméthyl ester) largement utilisé dans les aliments « basses calories » ou allégés. Il ne peut toutefois pas être utilisé dans tous les aliments car il est, au moins partiellement, détruit par certains traitements technologiques. En effet, des traitements à haute pression et à haute température et/ou à pH acide conduisent à l'apparition de composés non sucrés (aspartylphénylalanine et dicétopipérazine) (Butz et al., 1997). Dans un rapport (Afssa, 2000), l'Afssa « estime que l'état actuel des données scientifiques ne permet pas d'établir une relation entre exposition à l'aspartame et tumeurs du cerveau chez l'homme ou l'animal ». Cet avis a été confirmé par différentes évaluations dont celle du Comité Scientifique de l'Alimentation Humaine au niveau européen, rendue publique en décembre 2002. Par ailleurs, l'AESA a récemment confirmé la dose journalière admissible de 40 mg/kg poids corporel de l'aspartame et sa sécurité d'emploi⁴. La réglementation⁵ indique que l'étiquetage des aliments contenant de l'aspartame doit comporter l'avertissement suivant « contient une source de phénylalanine ».

⁴ Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing aids and Materials in contact with Food (AFC) on a new long-term carcinogenicity study on aspartame. *The EFSA Journal* 356: 1-44, 2006.

⁵ Arrêté du 2 octobre 1997 relatif aux additifs pouvant être employés dans la fabrication des denrées destinées à l'alimentation humaine

L'**acésulfame K** est un édulcorant non calorique découvert en 1967. Il a une bonne durée de conservation et une bonne résistance à la chaleur. Il relève et renforce certains saveurs et a une action synergique en combinaison avec d'autres édulcorants de faible valeur calorique. Il peut être utilisé dans une très large gamme d'aliments (boissons, produits laitiers, confiserie, pâtisserie, conserves de fruits et légumes...). Les nombreuses études d'innocuité effectuées n'ont pas révélé d'effet adverse (ISA, 2001).

La **saccharine** est l'un des plus anciens édulcorants utilisés en Europe. Il a été découvert en 1879. Son champ d'application est très large puisqu'il a une très bonne stabilité y compris au cours de la cuisson. La saccharine est absorbée lentement. Elle n'est pas métabolisée et est rapidement excrétée telle quelle par les reins. Depuis les années 60 et 70, son utilisation a décliné au profit de l'aspartame, en particulier.

Le **cyclamate** a été découvert en 1937. Son pouvoir sucrant n'est que de 30 à 50 fois celui du saccharose mais il a une action synergique avec la plupart des autres édulcorants à basses calories comme l'acésulfame K ou l'aspartame. Il est acalorique mais est très partiellement métabolisé dans l'intestin chez certains individus. En général son absorption intestinale est très limitée et, en cas d'absorption, il est excrété tel quel par les reins (ISA, 2001).

Le **sucralose** est un édulcorant dérivé du saccharose qui peut s'hydrolyser en solution mais uniquement à des pH très acides et à très haute température. Il est utilisé dans une large gamme de produits tels que les édulcorants de table, des boissons, des desserts, dont les desserts glacés, les produits laitiers. Il n'est pas métabolisé chez l'homme (ISA, 2001).

La **thaumatine** est un édulcorant protéique à faible pouvoir calorique extrait du Katemfe (*Thaumatococcus danielli*), un fruit ouest-africain. La thaumatine est un édulcorant qui agit en fait comme un arôme en masquant l'amertume et ajoutant de la palatabilité. Il est fréquemment utilisé en combinaison avec d'autres édulcorants intenses dans les boissons, les gommes à mâcher, les yaourts et produits laitiers. La thaumatine est métabolisée par l'organisme comme une protéine alimentaire (ISA, 2001).

La **néohespéridine DC** est un édulcorant non calorique et également un exhausteur de goût. Elle est produite par hydrogénation de la néohespéridine, une flavonone naturellement présente dans la pelure d'orange amère. Elle est fréquemment utilisée en très faible quantité en association avec d'autres édulcorants. Elle est très stable à pH acide, y compris en solution, et lors des traitements thermiques, ce qui la rend particulièrement intéressante pour édulcorer des produits soumis à la pasteurisation ou aux procédés UHT. Elle est particulièrement utilisée, en association avec d'autres édulcorants dans des confiseries, boissons, et produits lactés. La néohespéridine DC n'est que faiblement absorbée. La flore intestinale la convertit en métabolites identiques ou similaires à ceux dérivés des hydrochalcones de flavanones naturelles.

Le **néotame** est un ester monométhyle du N-(3,3-diméthylbutyl)-L-aspartyl-L-phénylalanine synthétisé en une étape par une réaction d'alkylation réductrice en présence de 3,3-diméthylbutaraldéhyde. Il peut générer des produits de dégradation à des pH et/ou températures extrêmes, mais pour lesquels l'absence de toxicité a été démontrée. Cet édulcorant a fait l'objet de deux avis de l'Afssa (Afssa, 2004 b ; Afssa, 2005 a) concluant à :

- l'absence de risque sanitaire pour le consommateur (aux concentrations et dans les applications proposées par le pétitionnaire), avec une DJA provisoire de 0,6 mg/kg de poids corporel ;
- la non-nécessité de mentionner le risque pour les sujets souffrant de phénylcétonurie.

A ce jour cet édulcorant n'est pas autorisé en France, ni dans le reste de l'Europe.

3. Réponses aux questions posées

L'Afssa insiste sur le fait que les réponses énoncées ci-dessous sont apportées dans le cadre très précis de cette saisine. S'agissant de la définition du DP qui caractérise les molécules dont la consommation devrait être réduite, l'Afssa a pris en compte les recommandations de la saisine : « le DP retenu devra être acceptable d'un point de vue technologique pour assurer sa prise en compte dans l'optimisation de la composition des aliments par toutes les industries agroalimentaires concernées ». L'expertise a donc été conduite en prenant en compte non seulement l'état actuel des

connaissances scientifiques, mais également les contraintes technologiques pour ce qui concerne les possibilités d'analyse de différentes gammes de DP.

1. Quels sont les glucides (et fibres) concernés par les recommandations de l'Afssa ?

L'Afssa considère que les constituants glucidiques dont la consommation doit être encouragée sont :

- les fibres totales ;
- l'amidon.

Les matières sucrantes de nature glucidique ne présentent pas d'avantages majeurs par rapport aux glucides simples, notamment le saccharose, en termes de contenu calorique et d'effets métaboliques et physiologiques (réponses glycémique et insulinémique) (Tableau 5),

Ainsi, l'Afssa considère que ces matières sucrantes doivent être incluses dans les constituants glucidiques dont la consommation doit être réduite.

Les constituants glucidiques concernés sont :

- les glucides simples (DP 1 et 2) ;
- les oligosaccharides et autres dérivés de polymères glucidiques de DP>2 pouvant présenter un pouvoir sucrant (notamment ceux présents dans les sirops de glucose ou autres préparations contenant des mélanges de glucides de faible DP). Un DP maximal de 5 pourrait être retenu, étant donné qu'au-delà, le pouvoir sucrant devient très faible ($\leq 10\%$ du pouvoir sucrant du saccharose pour les malto-oligosaccharides de DP ≥ 6) (Kimura *et al.*, 1990). Cette proposition part du postulat selon lequel les molécules glucidiques de DP>5 et ayant des pouvoirs sucrants inférieurs à 10 % de celui du saccharose présenteraient, à ce jour, un faible intérêt pour les industries agroalimentaires ;
- les oligosaccharides de DP supérieur ou égal à 6 et maltodextrines, ne présentant pas de pouvoir sucrant, mais susceptibles d'induire une sécrétion d'insuline égale ou supérieure à celle des glucides simples.

2. Quelles sont les analyses des glucides et des fibres qui doivent être réalisées, en prenant en compte les constituants dont la consommation devrait augmenter ou diminuer, selon les recommandations ?

Au regard des données présentées dans le chapitre précédent, l'Afssa propose que les molécules retenues pour faire partie des analyses des glucides et fibres devant être réalisées dans le cadre de l'étude visant à suivre l'évolution de la consommation et de l'offre en aliments « sucrés », soient :

Constituants glucidiques dont la consommation doit être encouragée :

- l'amidon « vrai » dont le dosage permet d'exclure les glucides simples et les dextrines de DP<10-14 (environ) ;
- les fibres totales (solubles + insolubles) ;
- l'amidon résistant qui ne sera pas quantifié correctement dans l'analyse des fibres totales ; il faudra cependant dans ce cas quantifier l'amidon résiduel de la fraction « fibres » dosée par la méthode de l'Association of Analytical Chemists (AOAC) 985.29 ou 991.43 qui devra être déduite de la teneur en fibres totales ;
- les polymères glucidiques considérés comme « fibres alimentaires » mais non quantifiés par la méthode de dosage des « fibres totales » ; il s'agit, à ce jour, des fructooligosaccharides, oligofructoses et du polydextrose.

Constituants glucidiques dont la consommation doit être réduite :

- les glucides simples (DP 1 et 2) ;
- les oligosaccharides et autres dérivés de polymères glucidiques de $2 < DP < 6$ dont les liaisons sont hydrolysables par les enzymes endogènes de l'homme ;
- les maltodextrines qui sont utilisées comme substance de charge dans les aliments contenant des édulcorants intenses ;

En outre, la quantification des 4 oses dominants des fibres alimentaires et leur proportion respective pourrait permettre, dans la majorité des aliments, de contrôler la nature des fibres (intrinsèques aux matières premières ou ajoutées).

Les méthodes analytiques permettant de quantifier ces molécules sont présentées dans le tableau 4.

Constituants glucidiques	DP	Méthode recommandée	
		Référence	Principe
Mono- et di-saccharides	1 & 2	Dekker, 2000; FAO/WHO,	HPLC* (HPAE-PAD*)
Oligosaccharides	3-9	1998; DIONEX®, 2000;	HPLC (HPAE-PAD*)
Maltodextrines	3-9	*Moreno <i>et al.</i> , 1999	HPLC (HPAE-PAD ou HPAE-PED**)
Amidon « vrai » total	>9	Méthode AOAC 996.11 Méthode AACC 76-13 (McCleary <i>et al.</i> , 1997)	Méthode enzymatique (amyloglucosidase puis dosage du glucose) ; Le dosage spécifique, en parallèle, des maltodextrines et des glucides simples permet de quantifier l'amidon « vrai » ; Par défaut, il est possible d'estimer les glucides simples et maltodextrines par extraction dans l'éthanol 80% (DP<10-14, environ) et dosage du glucose après hydrolyse à l'amyloglucosidase
Amidon résistant	>9	AOAC 2002-02 McCleary & Monaghan, 2002	Méthode enzymatique
Fibres solubles et insolubles**	>9	AOAC 985.29 ; AOAC 991.43 (Prosky <i>et al.</i> , 1985 ; Lee <i>et al.</i> , 1992)	Méthodes enzymatiques gravimétriques
Oses constitutifs des fibres alimentaires		Englyst <i>et al.</i> (1994)	Méthodes chromatographiques (CPG ou HPLC)

Tableau 4. Méthodes recommandées pour chacune des catégories des glucides à doser

*HPLC: High Performance Liquid Chromatography; HPAE-PED: High performance anion-exchange chromatography with pulsed electrochemical detection

** Cf. Afssa, 2004 c

Pour doser spécifiquement les mono- et disaccharides, il existe, à l'heure actuelle des **méthodes enzymatiques**. Mais, contrairement aux méthodes chromatographiques, ces dosages ne peuvent être effectués simultanément sur un même échantillon.

La **chromatographie phase gazeuse** (CPG) pourrait être utilisée pour le dosage des oses mais elle nécessite un traitement chimique de l'échantillon pour transformer les glucides en composés volatils, ce qui restreint son domaine d'application aux monosaccharides. En effet, certains oses sont modifiés par ce traitement et ne peuvent donc pas être dosés spécifiquement (cas du fructose réduit en mannitol). Les polymères doivent être hydrolysés avant d'être dosés par CPG ; si la technique permet d'identifier les oses constitutifs, elle ne permet pas de déterminer le DP des polymères.

La **chromatographie en phase liquide haute performance** (HPLC) permet de s'affranchir de cette limite en mettant à disposition une gamme étendue de supports qui vont permettre, selon la polarité et/ou la taille des solutés, de réaliser, avec un minimum de préparation, l'analyse de mélanges complexes. Deux modes paraissent intéressants, la chromatographie en phase normale sur silice greffée par des fonctions amines et la chromatographie d'échanges d'ions.

Ainsi, l'analyse des mono et disaccharides sur colonne de silice greffée aminopropyle (phase normale) est aujourd'hui couramment pratiquée. Cependant, cette analyse qui fait appel à l'utilisation d'un éluant composé d'un mélange binaire, le plus souvent acétonitrile/eau, voit très souvent ses performances limitées par la détection réfractométrique qui implique une élution en mode isocratique. A noter que le remplacement du réfractomètre par un détecteur à diffusion de lumière (ELSD) permet de travailler en mode gradient avec un seuil de sensibilité amélioré (de l'ordre de 0,1 µmole). L'usage du mode gradient optimise les séparations des glucides simples et donne accès à l'analyse des oligosaccharides. Une littérature abondante existe sur le sujet et la plupart des

fabricants de colonnes fournissent des fiches techniques décrivant le potentiel du système, phase NH₂ – ELSD, pour l'analyse des mono, di et oligosaccharides dans les aliments. Ces analyses sont toutefois facilement perturbées et les colonnes contaminées par la présence de sels minéraux, de protéines, d'acides aminés, voire d'oligosaccharides de DP trop élevés.

La **chromatographie d'échange d'ions** offre deux possibilités : les échangeurs de cations, performants pour la séparation des mono et disaccharides, mais très fragiles à l'usage, et des échangeurs d'anions, plus particulièrement les supports pelliculaires constitués de microbilles de latex fonctionnalisées par des amines quaternaires. Ce type de support, parfaitement inerte vis-à-vis des variations de pH et de force ionique, permet d'utiliser des éluants fortement basiques (NaOH de 0,015 à 0,5 M). Dans ces conditions, les molécules neutres, qui présentent des pKa compris entre 12 et 14, auront leurs fonctions alcool partiellement ou totalement ionisées, et pourront ainsi être séparées. Cette méthode présente également l'intérêt de pouvoir être directement couplée avec une détection par ampérométrie pulsée (PAD). Du fait de l'utilisation d'un potentiel précis pour oxyder les fonctions alcools secondaires des glucides, la détection ampérométrique pulsée est une méthode spécifique, très peu sensible au gradient, qui permet d'obtenir des chromatogrammes simples à interpréter. Très sensible, des concentrations en glucides de l'ordre de la nanomole étant détectées, elle limite les étapes de préparation des échantillons en s'affranchissant des problèmes de pollution de la colonne par les divers constituants de la matrice.

3. Comment distinguer, par une procédure analytique ou par une définition précise, les glucides simples « intrinsèques » aux ingrédients de base, des glucides simples « ajoutés » ?

Il s'agit de proposer une méthodologie permettant de distinguer les glucides simples intrinsèques aux ingrédients de base, des constituants glucidiques sucrants ajoutés lors la fabrication des aliments.

Deux démarches peuvent être utilisées :

- mise en évidence de composés mineurs, de nature glucidique ou non, caractéristiques de l'origine de la matière première ;
- identification du glucide considéré sur la base de la valeur des rapports isotopiques des éléments constitutifs.

La première option implique la connaissance des composés susceptibles d'être présents et la mise en œuvre d'une méthode de dosage sensible adaptée.

Pour la 2^{ème}, deux techniques peuvent être envisagées :

- l'IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometry) ;
- le SNIF-NMR (Site-specific Natural-Isotope Fractionation).

Pour ces deux techniques il est nécessaire d'isoler le ou les composés glucidiques désirés par une chromatographie préparative en phase liquide.

L'IRMS consiste en une étude en spectrométrie de masse du massif isotopique d'un des éléments (en général le carbone). Le produit est détruit par combustion et l'analyse est réalisée sur le CO₂ formé. Le résultat obtenu est par conséquent global.

Le **SNIF-NMR** fait appel à la RMN du proton ou du carbone et permet de déterminer, dans la mesure du possible, pour chaque atome constituant la molécule, le rapport ¹³C/¹²C ou D/H.

Il s'agit de la méthode la plus précise, mais très peu de laboratoires sont susceptibles de la maîtriser. Cette méthode est reconnue comme une méthode AOAC (AOAC, 1996 ; Martin *et al.*, 1996).

A ce jour, il n'est pas envisageable que de telles analyses puissent se faire de façon systématique par les industriels ou les organismes de contrôle.

En guise d'alternative, et par souci de fournir une information pertinente au consommateur, l'Afssa propose que l'ensemble des matières sucrantes de nature glucidique soit inclus dans la définition des « sucres ajoutés ».

Les « sucres ajoutés » pourraient être définis comme des oses simples, diholosides ou polymères glucidiques de degré de polymérisation (DP) strictement inférieur à 6, introduits

dans un aliment sous forme d'ingrédient pur ou raffiné ou tout autre ingrédient contenant majoritairement des glucides ayant ces caractéristiques. Ceux-ci devraient en outre remplir les critères suivants :

1. ils sont hydrolysés dans l'intestin grêle et/ou absorbés par tout ou partie des hommes et femmes adultes et/ou enfants de plus de 3 ans, en bonne santé, et sont ensuite au moins partiellement métabolisés par ces mêmes populations ;
2. ils ont un pouvoir sucrant supérieur à 10% de celui du saccharose.

Sur le plan de l'étiquetage nutritionnel, les mentions « sans sucres ajoutés » ou « sans sucre ajouté » concernent aujourd'hui des aliments sans composés glucidiques de DP supérieurs à 2. La définition des « sucres ajoutés » proposée par l'Afssa, prenant en compte les effets physiologiques similaires des composés glucidiques de DP inférieur à 6, permet de limiter strictement l'utilisation de ces mentions aux seuls produits ne contenant aucune matière sucrante ajoutée.

4. Quelles possibilités de substitution des glucides simples ajoutés en formulation faut-il recommander ; et quels risques de dérive dans la formulation doit-on prévenir et/ou contrôler ?

Depuis la parution du rapport de l'Afssa (Afssa, 2004 a), les IAA ont suivi les recommandations de l'Afssa pour alléguer sur des suppressions ou diminution des « sucres ajoutés » ou du « sucre ajouté » ou du « saccharose ajouté ». Cette tendance est profitable au consommateur, qui peut disposer d'aliments moins riches en glucides simples, et est sensibilisé, grâce à ces allégations, à la nécessité d'une diminution des apports en glucides simples.

Cependant, les modifications bénéfiques de formulation de composition impliquées par ces allégations sont à mettre en regard de certains inconvénients potentiels qui y sont rattachés, comme le montre le tableau 5 ci-dessous.

Constituant	Avantage(s)	Inconvénient(s)	Bénéfice global de la substitution & Remarques générales
Fructose	Moins hyperglycémiant que le saccharose	Potentiellement hypertriglycéridémiant	Moins hyperglycémiant que le saccharose mais risque d'hypertriglycéridémie
Sirop de glucose/fructose ou isoglucose	Pouvoir glycémiant compris entre celui du glucose et du fructose (en fonction des proportions de chacun des sucres)	Inconvénients des deux sucres constitutifs. Lorsque 50/50 = saccharose	Pas de bénéfice pour la santé Risque d'hypertriglycéridémie lié à la présence de fructose
Edulcorant(s) intense(s) + maltodextrines	Diminue globalement la charge de glucides hyperglycémiantes	Hyper-glycémiantes Effet nutritionnel à long terme et à dose élevée des édulcorants intenses non connu	Limités aux « confiseries à teneur énergétique réduite » (-30% énergie) et « sans sucres ». Effet nutritionnel à long terme et à dose élevée des édulcorants intenses non connu
Edulcorant(s) intense(s) + substance de charge non calorique	Supprime totalement l'apport glucidique lié au pouvoir sucrant recherché	Effet nutritionnel à long terme et à dose élevée des édulcorants intenses non connu	
Sucres alcool	Moins caloriques que les sucres (2,4 kcal/g) Anticariogènes Edulcorant massique (apporte de la « masse »)	Effet laxatif à dose élevée	Limités aux « confiseries à teneur énergétique réduite » (-30% énergie) et « sans sucres ». Risque de diarrhées (/consommation élevée)
Miel	Contient des nutriments et molécules à activité biologique potentiellement intéressantes (ex : activités bactériostatique, antifongique)	Pouvoir glycémiant proche de l'isoglucose Presque aussi riche en énergie qu'un sirop de glucose (pour une concentration en sucres identique) : 290 kcal/100g pour 80% de MS	Presque aussi énergétique et hyperglycémiant que l'isoglucose mais apporte des molécules potentiellement intéressantes
Fraction d'origine végétale riche en fructose et glucose (ex : moût de raisin concentré rectifié)	—	—	Informers le consommateur sur le fait qu'il s'agit d'une source de glucides simples

Tableau 5. Substitutions possibles au saccharose – avantages et inconvénients

A l'heure actuelle, l'utilisation des édulcorants intenses et des polyols est très limitée puisqu'ils ne sont autorisés que dans le cas des confiseries « à teneur énergétique réduite » et « sans sucres », des chocolats « sans sucres ajoutés », tandis que leur ajout dans les biscuits et les céréales pour petit-déjeuner de consommation courante n'est pas autorisée. Il est donc nécessaire d'examiner la balance bénéfice/risque liée à une utilisation croissante du nombre de catégories d'aliments dans lesquels l'incorporation d'édulcorants de charge ou intenses serait autorisée. Le tableau 6 présente les avantages et inconvénients des substances de charge susceptibles d'être ajoutées aux aliments en cas d'introduction croissante d'édulcorants intenses

Substances de charge	Nature chimique	Avantage(s)	Inconvénient(s)	Bénéfice global de la substitution pour la santé & remarques générales
		Pour la santé des consommateurs		
Maltodextrines	Polymère d'unités glucose liées en α 1-4 et α 1-6	Puisqu'elles sont associées à un édulcorant intense, elles sont substituées à une plus grande masse de glucides	4 kcal/g Très hyperglycémiant (autant que le glucose à teneur en équivalents glucose identique)	Puisqu'elles sont associées à un édulcorant intense, elles sont substituées à une plus grande masse de glucides.
Polydextrose	Polymère d'unités glucose liées par plusieurs types de liaisons (notamment 1-2, 1-3, 1-4, 1-6 α ou β) et contenant en outre des résidus sorbitol et de l'acide citrique	Non hyperglycémiant Peu calorique (1 kcal/g)	–	Non hyperglycémiant Peu calorique
Cellulose	Polymère d'unités glucose liées en β 1->4	Non hyperglycémiant Peu calorique	–	

Tableau 6. Substances de charge susceptibles d'être ajoutées aux aliments en cas d'introduction croissante d'édulcorants intenses

Conclusion

L'Afssa propose donc que les constituants glucidiques devant être introduits dans le dispositif de surveillance des compositions et des apports glucidiques soient les suivants :

- **Constituants glucidiques dont la consommation doit être encouragée**
 - o l'amidon « vrai » dont le dosage permet d'exclure les glucides simples et les dextrines de DP<10-14 (environ) ;
 - o les fibres totales (solubles + insolubles) ;
 - o l'amidon résistant qui ne sera pas quantifié correctement dans l'analyse des fibres totales ; il faudra cependant dans ce cas quantifier l'amidon résiduel de la fraction « fibres » dosée par la méthode de l'Association of Analytical Chemists (AOAC) 985.29 ou 991.43 qui devra être déduite de la teneur en fibres totales ;
 - o les polymères glucidiques considérés comme « fibres alimentaires » mais non quantifiés par la méthode de dosage des « fibres totales » ; il s'agit, à ce jour, des fructooligosaccharides, oligofructoses et du polydextrose.
- **Constituants glucidiques dont la consommation doit être réduite**
 - o les glucides simples (DP 1 et 2) ;
 - o les oligosaccharides et autres dérivés de polymères glucidiques de 2<DP<6 dont les liaisons sont hydrolysables par les enzymes endogènes de l'homme ; ces composés

- ont un devenir métabolique similaire à celui des glucides simples et présentent un pouvoir sucrant équivalent à au moins 10% de celui du saccharose ;
- les maltodextrines qui sont utilisées comme substance de charge dans les aliments contenant des édulcorants intenses ; ils ne présentent pas de pouvoir sucrant mais sont susceptibles d'induire une sécrétion d'insuline égale ou supérieure à celles des glucides simples.

Pour certains types de produits, la substitution de molécule dont la consommation doit être réduite pourront être étudiée.

Concernant l'emploi des édulcorants de charge (polyols), l'Afssa souligne que des études complémentaires doivent être réalisées pour déterminer leur tolérance, notamment chez les enfants et les sujets souffrant de troubles intestinaux.

Concernant l'emploi des édulcorants intenses, l'Afssa estime qu'une étude critique et exhaustive de la littérature scientifique est nécessaire afin de connaître l'impact nutritionnel à court et surtout à long terme des molécules actuellement autorisées en France et en Europe.

Afin de distinguer les glucides simples intrinsèques aux ingrédients de base des constituants glucidiques sucrants ajoutés lors des procédés de fabrication, l'Afssa propose la définition suivante pour la notion de « sucres ajoutés » :

Les « sucres ajoutés » pourraient être définis comme des oses simples, diholosides ou polymères glucidiques de degré de polymérisation (DP) strictement inférieur à 6, introduits dans un aliment sous forme d'ingrédient pur ou raffiné ou tout autre ingrédient contenant majoritairement des glucides ayant ces caractéristiques. Ceux-ci devraient en outre remplir les critères suivants :

- 1. ils sont hydrolysés dans l'intestin grêle et/ou absorbés par tout ou partie des hommes et femmes adultes et/ou enfants de plus de 3 ans, en bonne santé, et sont ensuite au moins partiellement métabolisés par ces mêmes populations ;**
- 2. ils ont un pouvoir sucrant supérieur à 10% de celui du saccharose.**

Cette définition pourrait être précisée avec l'évolution de la bibliographie.

Ce DP est compatible avec les perceptions du consommateur qui associe le terme « sucre » au goût sucré.

Finalement, l'Afssa estime que la diminution de la teneur en matières glucidiques sucrantes (mono et disaccharides, sirops de glucose et/ou de fructose, préparations sucrantes à base de fruits) de certains aliments est nécessaire pour atteindre l'objectif de santé publique de réduction de 25 % la consommation de glucides simples dans la population française. Les modalités de cette diminution pourront être définies par groupe d'aliments.

Le développement d'outils d'information et d'éducation nutritionnelle sur les recommandations concernant les produits sucrés devra accompagner cette démarche d'amélioration de la qualité nutritionnelle des produits.

Références bibliographiques

Articles et avis :

Afssa (2000) Rapport de l'Afssa sur la question d'un éventuel lien entre exposition à l'aspartame et tumeurs du cerveau. 7 mai 2000. 18 pages.

Afssa (2002) Avis de l'Afssa relatif à l'emploi de sel aspartame-acésulfame en tant qu'édulcorant. 13 mai 2002.

Afssa (2004 a). Rapport « Glucides et santé – Etats des lieux, évaluation et recommandations ». Octobre 2004. 167 pages.

Afssa (2004 b) Avis de l'Afssa relatif à l'emploi d'un édulcorant néotame comme additif alimentaire. 28 mai 2004.

Afssa (2004 c) Rapport « Les fibres alimentaires : définitions, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles », Afssa, septembre 2004.

Afssa (2005a) Avis de l'Afssa relatif à l'emploi d'un édulcorant néotame comme additif alimentaire (suite à l'avis de l'Afssa en date du 28 mai 2004). 14 novembre 2005.

Afssa (2005b) Communiqué de presse Afssa. Nouvelles données sur l'aspartame. 15 juillet 2005.

- Andersen R & Sorensen A (2000) Separation and determination of alditols and sugars by high-pH anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection., *J Chromatogr A.*, 897, 195-204.
- Arcella D., Le Donne C., Piccinelli R., Leclercq C. (2004) Dietary estimated intake of intense sweeteners by Italian teenagers. Present levels and projections derived from the INRAN-RM-2001 food survey. *Food Chem. Toxicol.* 42, 677-685.
- Bellisle F. Modulation nutritionnelle des comportements, de l'humeur et du fonctionnement intellectuel. Dans : *Aliments fonctionnels*. M. Roberfroid Ed. Editions Tec & Doc. Coll. Sci. & Techn. Agroalim. pp 335-354.
- Blundell JE & Green SM (1996) Effect of sucrose and sweeteners on appetite and energy intake. *Int. J. Obes.* 20(Suppl.2), S12-S17.
- Blundell JE & Hill AJ (1986) Paradoxical effects of an intense sweetener (aspartame) on appetite. *Lancet* 1, 1092-1093.
- Booth DA (1991) Are low-calorie substitutes compensated ? *Appetite* 17, 159-162.
- Booth DA, Lee M & McAleavey C (1976) Acquired sensory control of satiation in man. *Brit. J. Psychol.* 67, 137-147.
- Butz P, Fernandez A, Fister H & Tauscher B (1997) Influence of high hydrostatic pressure on aspartame: instability at neutral pH. *J. Agric. Food Chem.* 45, 302-303.
- Cordalla CB et al. (2003) Honey characterization and adulteration detection by pattern recognition applied on HPAEC-PAD profiles. 1. Honey floral species characterization. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 2003, 3234-3242
- Corradini C, et al. (1997) Separation of alditols of interest in food products by high-performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection, *J Chromatogr A.*, 791, 343-349.
- de Graaf C, Hulshof T, Weststrate JA & Jas P (1992) Short-term effects of different amounts of protein, fats and carbohydrates on satiety. *Am. J. Clin. Nutr.* 55, 33-38.
- Debry G (1996) *Glucides à saveur sucrée, édulcorants et santé*. Vol. 1. Sucres et santé. John Libbey. Eurotext. Publ. 850 pages.
- Dekker M. *Food analysis by HPLC*, L.M.L. Nollet Ed., New-York, 2000.
- DIONEX®. 2000. Analysis of carbohydrates by high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAE-PAD). Technical note 320. 13 pages.
- Dobbing J. (Editor). 1987. *Sweetness*. Human Nutrition Reviews. ILSI Europe. Springer-Verlag Publ. 282 pages.
- Dobbing J. (Editor). 1989. *Dietary starches and sugars in man: a comparison*. Human Nutrition Reviews. ILSI Europe. Springer-Verlag Publ. 256 pages.
- EFSA (2005) New research data on the sweetener aspartame to be considered by EFSA's scientific experts. 14 July 2005
- El Rassi Z. *Carbohydrate analysis*, Ed, Elsevier, Amsterdam, 1995.
- Englyst HN, Quigley ME, Hudson GJ. (1994) Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst.* 119, 1497-1509.
- FAO/WHO (1998) *Carbohydrates in human nutrition*. FAO Food and Nutrition Paper 66. 140 pages.
- Favier JC, Ireland-Ripert J, Toque C, Feinberg (1995) *Répertoire général des aliments (REGAL)*. Table de composition. Ed. INRA, CNEVA/CIQUAL et Lavoisier /Tec & Doc. 897 pages.
- Foster-Powell K, Holt SHA, Brand-Miller JC (2002) International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.* 76, 5-56.
- Ischayek J.I. & Kern M. (2006) US honeys varying in glucose and fructose content elicit similar glycemic indexes. *J. Amer. Diet. Assoc.* 106, 1260-1262.
- Johnson IT, Southgate DAT & Durnin JVGA (1996). Intrinsic and non-milk exytrinsic sugars: does the distinction have analytical or physiological validity? *Intern. J. Food Sci. Nutr.* 47, 131-140.
- Kelly SA, Summerbell C, Rugg-Gunn AJ, Adamson A, Fletcher E, Moynihan PJ. (2005) Comparison of methods to estimate non-milk extrinsic sugars and their application to sugars in the diet of young adolescents. *Br J Nutr.* 94, 114-24.
- Kimura K, Nakakuky T (1990). *Stärke*, 42, 151-157. Cité dans Minoru Okada & Teruo Nakakuki. *Oligosaccharides : Production, properties and applications*. In : *Starch hydrolysis products – Worldwide Technology Productions and Applications*. F.W. Schenk & O.E. Hebeda (Eds). VCH Publishers Inc., New York, 1992.
- Ko I.W.P., Corlette R.T & Xu R.J (1998) Sugar composition of wild fruits in Hong Kong, China. *J. Tropical Ecology* 14, 381-387.
- Li BW, Andrews KW & Pehrsson PR (2002) Individual sugars, soluble and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of food composition and analysis*, 15(6), 715-723.
- Louis-Sylvestre J., Tournier A & Verger P (1987) Learned caloric adjustment of human intake. *Appetite* 12, 95-103.

- Macdonald I. & Williams C.A. (1988) Effects of ingesting glucose and some of its polymers on serum glucose and insulin levels in men and women. *Ann. Nutr. Metab.* 32, 23-29.
- McCleary BV, Gibson TS, Mugford DC (1997) Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase – α -amylase method: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 80, 571-579.
- McCleary BV, Monaghan DA (2002) Measurement of resistant starch. *J. AOAC Int.* 85, 665-675.
- Moreno FJ, Olano A, Santa-Maria G, Corzo N. (1999) Determination of maltodextrins in enteral formulations by three different chromatographic methods. *Chromatographia*, 50, 705-710.
- Natah SS, Hussien KR, Tuminen JA & Koivisto VA (1997) Metabolic response to lactitol and xylitol in healthy men. *Am. J. Clin. Nutr.* 65, 947-950.
- Rocklin RD & Pohl CA (1983) Determination of carbohydrates by anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *J. Liq. Chrom.*, 6, 1577-1590.
- Rolls BJ (1991) Effects of intense sweeteners on hunger, food intake, and body weight: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 53, 872-878.
- Sipple HL & McNutt KW (1974) *Sugars in nutrition*. Academic Press Inc. London. 768 pages.
- St-Onge M.P. & Heymsfield S.B. (2003) Usefulness of artificial sweeteners for body weight control. *Nutr. Rev.* 61, 219-221.
- Sungsoo Cho S, Prosky L & Dreher M. *Complex carbohydrates in food*, Ed. M. Dekker, New York, 1999.
- Thissen JP & Hermans M (2002) Apports alimentaires, aliments fonctionnels et diabète sucré. Dans : *Aliments fonctionnels*. M. Roberfroid Ed. Editions Tec & Doc. Coll. Sci. & Techn. Agroalim. pp. 245-278.
- Vettorazzi G. & Macdonald I. (Editors). 1988. *Sucrose – Nutritional and safety aspects*. Human Nutrition Reviews. ILSI Europe. Springer-Verlag Publ. 256 pages.
- Walker R (1995). The safety of light foods. In: *Light Foods*. Leathwood PD, Louis-Sylvestre J, Mareschi JP. Editors. ILSI Press, Bruxelles, pp. 87-94.
- Young CS (2002) Evaporative light scattering detection methodology for general carbohydrate analysis by HPLC, *Cereal Foods World*, 47 (1).

Documents divers :

- ISA (2001) Fiches descriptives (des édulcorants). Editées par l'International Sweeteners Association (ISA). www.edulcorants.org.
- Alliance 7 (2006). Présentation au groupe de travail DGAL/PNNS Glucides – Réunion du 7 avril 2006. 32 pages. *De nombreuses informations sur les propriétés techno-fonctionnelles des matières sucrantes sont issues des documents produits par Alliance 7.*

Mots clés

Matières sucrantes glucidiques ; sirops de glucose ; glucides simples ajoutés ; sucres ; édulcorant, degré de polymérisation

Pascale BRIAND