



Projet SDM

RAPPORT FINAL D'ACTIVITE

PHASE 1 AXE 1 – ACTIVITE 3

« Etude de l'index glycémique des principales céréales consommées au Mali : mil, riz, fonio, sorgho et maïs par rapport au pain blanc (aliment de référence) »

Juin 2006

ONG « Appui au développement, Santé Diabète Mali (SDM)»

N°02/06- Juin 2006

**Nientao Antoine (SDM)
Besançon Stéphane (SDM)
Béran David (IIF)**

SOMMAIRE

Table des figures	3
I – Introduction.....	4
1 – Les glucides.....	4
2 – Le régime alimentaire pour les diabétiques pose de nombreuses difficultés au Mali.....	6
3 – Problèmes socioculturels liés aux régimes alimentaires	6
4 – Importance de connaître les index glycémiques et les réponses glycémiques post prandiales des céréales consommées au Mali	7
5 - La glycémie.....	8
6 – La table de composition des aliments du Mali (TACAM).....	9
II – Objectifs.....	10
III – Méthodologie.....	10
1 – Recueil des données	10
2 - Critères d'exclusion:	10
3 - Protocole expérimental :	10
IV – Résultats	12
1 – Caractéristiques cliniques des sujets	12
2 – Glycémies post prandiales après ingestion des différentes céréales	12
2 – 1 Ensemble des glycémies de T=0 à T= 120.....	12
2 – 2 Courbes d'évolution de la glycémie pour les différents aliments testés	14
2 – 3 Mesure des aires sous la courbe	14
2 – 5 Index glycémique	15
V – Discussion.....	17
VI – Conclusions	20
Bibliographie	21
Publication à lire pour approfondir la notion d'Index Glycémique (IG)	23

Table des figures

Figure 1: Méthode de calcul de l'index glycémique.....	8
Figure 2: Représentation des courbes d'évolution de la glycémie (g/l) aux différents temps de mesure (min) pour les différents aliments testés	14

Table des tableaux

Tableau 1: Composition biochimique et profil de gélatinisation des principales céréales consommées au Mali [4 ; 11]	9
Tableau 2: Représentation des différentes céréales ramenées a 50 g de glucides.....	11
Tableau 3: Caractéristiques cliniques des sujets	12
Tableau 4: Représentation des glycémies, pour chaque aliment testé, obtenues entre T=0 et T=120	13
Tableau 5: Mesure des aires sous la courbe des différents aliments testés (mmol/min/l)	15
Tableau 6: Résultats des index glycémiques obtenus pour chacun des aliments testés.	15
Tableau 7: Représentation des différences significatives ou non entre les différents aliments testés	16
Tableau 8: Représentation des IG et de la quantité de céréale utilisé pour chaque préparation testée.....	16

I – Introduction

Dans tous les pays du monde, la prévalence de l'obésité, du diabète et des maladies dégénératives comme les pathologies cardio-vasculaires augmente rapidement, notamment chez les jeunes [1]. En Afrique cette élévation de la prévalence est masquée par les maladies infectieuses comme le paludisme, le VIH/SIDA et la Tuberculose.

Contrairement à une ancienne conception qui se valait de classer le diabète sucré comme une maladie des pays et des hommes riches, le diabète sucré est aujourd'hui très répandu en Afrique avec une prévalence variant entre 0,5 et 3 % de la population suivant les pays [1].

Au Mali, une enquête menée en 1985 à Kita, Bafoulabé et Kéniéba, portant sur 7472 personnes de tout âge a trouvé une prévalence de 0,92 pour cent [2]. Les prévalences estimées par la Fédération Internationale du Diabète et l'OMS varient autour de 0,5 % à 3%. D'après Hillary King, au Mali la prévalence du diabète était estimée en 2000 à 1,1% de la population [3].

Cependant, à Bamako, les médecins spécialisés estiment que la prévalence dépasserait aujourd'hui 2% de la population. 90% des malades sont traités pour un diabète sucré de type 2 et 10 % pour un diabète sucré de type 1. Une étude réalisée en 1996, à l'hôpital national du Point G, a montré que le diabète sucré constituait la deuxième cause d'hospitalisation après le VIH/SIDA dans le service de médecine interne, toutes spécialités confondues. C'est montrer toute l'importance que revêt cette maladie au Mali [4].

Quel que soit le type de diabète et le type de médicaments utilisés, une alimentation équilibrée est une nécessité sans laquelle il est illusoire d'espérer prendre en charge correctement son diabète. Il est recommandé que les glucides doivent idéalement représenter 50 à 55 % des apports énergétiques totaux de l'alimentation [5].

Pour la grande majorité des animaux, les glucides constituent la principale source d'énergie, stockée dans le foie et dans les muscles sous forme de glycogène, fournissant non seulement l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme vivant, mais intervenant également dans la construction cellulaire.

1 – Les glucides

Ils sont constitués soit d'un saccharide (on parle alors de monosaccharide à l'instar du glucose, du fructose ou encore du galactose), soit de deux saccharides (disaccharides : saccharose, lactose, maltose). Il existe également le groupe des sucres-alcools, ou polyols.

Les oligosaccharides sont constitués de 3 à 9 saccharides, les malt oligosaccharides composés d'unités de glucose : digestibles, obtenus par transformation (exemple des maltodextrines, issues de l'hydrolyse de l'amidon) les autres oligosaccharides (raffinose, stachiose...), présents naturellement dans les plantes, peu digestibles. Quand les saccharides sont constitués de 10 à 100 000 saccharides, on les appelle polysaccharides. Les polysaccharides sont répartis en deux familles:

- Les amidons, digestibles, présents dans de nombreux aliments comme le maïs, le blé, la pomme de terre ou le manioc. L'origine botanique de l'amidon influe sur la taille et la

morphologie des granules, sur les proportions d'amylose et d'amylopectine et leur arrangement spatial. Des différences qui conditionnent la digestibilité de l'amidon.

- L'autre famille de polysaccharides, non digestibles, considérés comme des fibres alimentaires et en partie fermentés par la flore colique, regroupe notamment les celluloses, hémicelluloses, hydrocolloïdes (pectines, guar...). Reste que cette classification purement biochimique renvoie imparfaitement aux effets physiologiques des glucides, et notamment à leur métabolisme spécifique lors de la digestion. Aussi, une autre manière d'envisager les glucides repose-t-elle sur l'introduction de concepts caractérisant leur devenir dans l'organisme.

La rapidité de l'ascension glycémique après l'ingestion de glucide dépend essentiellement du temps de transit gastrique et de l'accessibilité aux enzymes digestives [6].

La rapidité de la vidange gastrique est diminuée par l'augmentation de la teneur en graisses et en protéines, et par la richesse en fibres alimentaires. De même, les aliments solides sont digérés plus lentement que les liquides (la pomme plus lentement que le jus de pomme), et les aliments froids sont moins rapidement absorbés que les aliments tièdes. Dans un repas mixte (glucido-protido-lipidique), il existe une vitesse moyenne de transit gastrique. Quant à l'accessibilité aux enzymes digestives, elle dépend surtout de l'existence éventuelle d'une enveloppe fibreuse plus ou moins respectée par une transformation industrielle et par la cuisson.

La séparation des glucides en sucres lents et rapides a pendant longtemps été estimée superposable à la classification basée sur leur structure chimique (sucres de structure simple /sucres de structure complexe), et à la classification basée sur l'existence ou non de goût sucré (goût sucré=sucre rapide/pas de goût=sucre lent, parfois appelé sucre caché). En fait, cette classification n'est que partiellement exacte, d'une part, certains sucres de structure simple font moins monter la glycémie que d'autres sucres simples, et d'autre part l'organisme humain est capable de digérer très rapidement certains sucres de structure complexe avec pour conséquence une élévation très rapide de la glycémie.

Les monosaccharides et disaccharides constituent le groupe des sucres simples. Ils élèvent la glycémie très rapidement, et les sucres simples sont donc classés dans le groupe des sucres rapides.

Les polysaccharides assimilables sont des glucides que l'organisme humain est capable de digérer. Certains d'entre eux sont digérés rapidement et sont donc des sucres complexes classés dans le groupe des sucres rapides.

Les glucides de structures complexes digérés beaucoup plus lentement, constituent le véritable groupe des sucres lents ; fèves, flageolet, lentilles, haricots rouges, haricots blancs, pois cassés, pois chiches.

Les polysaccharides non assimilables constituent le groupe des fibres alimentaires et sont des glucides particuliers que l'organisme humain n'est pratiquement pas capable de digérer, et qui ont des propriétés intéressantes :

- Elles ralentissent la vidange gastrique et freinent les mouvements de la partie initiale de l'intestin, ce qui ralentit l'absorption des glucides assimilables.
- Certaines fibres peuvent retenir jusqu'à cinq fois leur poids en eau. Il en résulte la formation d'un gel qui réduit l'absorption des glucides ce qui facilite le transit intestinal.

- Elles se combinent dans l'intestin avec le cholestérol présent dans la bile, ce qui abaisse le cholestérol sanguin.

Elles n'apportent pas de calories. L'apport conseillé en fibres pour la population générale est de 25g/24heures, mais il n'est que rarement atteint dans l'alimentation quotidienne au Mali. Les diabétiques ont donc tout intérêt à augmenter leur ration de fibres alimentaires, ne serait ce que pour parvenir au niveau des apports recommandés aux personnes non diabétiques.

Les mono et disaccharides sont rapidement digérés et provoquent une hyperglycémie immédiate avec un pic en pointe alors que les polysaccharides sont lentement digérés provoquant un pic en plateau. L'insulino-sécrétion étant retardée chez le diabétique de Type 2, les glucides rapides vont provoquer une hyperglycémie post prandiale importante. Cependant nous devrions tenir compte de l'influence que pourrait jouer les aliments additionnés à ces glucides qui peuvent ralentir la digestion des sucres simples (sucre rapide) La diététique étant une des bases fondamentales de la prise en charge du diabète sucré, il est important que les patients diabétiques soient informés de leurs rôles dans l'organisme [7]

2 – Le régime alimentaire pour les diabétiques pose de nombreuses difficultés au Mali

Les structures de prise en charge spécialisées ne possèdent pas de données scientifiques relatives aux aliments consommés localement au Mali. Les données proviennent de la France, des Etats-Unis, mais correspondent à des régimes différents de ceux consommés au Mali. Le régime est aussi un problème à cause de la variabilité de l'accès aux aliments sains liée aux coûts et à la disponibilité selon les saisons. La majeure partie des conseils de régime donnés aux patients n'est pas basée sur la nourriture locale et les habitudes alimentaires des malades. Enfin, le manque de formation du personnel soignant sur cette thématique empêche une éducation adéquate des patients et donc l'observance d'un régime adapté [7].

Au Mali, les céréales forment la base des repas du midi et du soir. Ces céréales (mil, riz, fonio, maïs, blé et sorgho) sont des végétaux herbacés cultivés de manière traditionnelle durant la saison des pluies (en moyenne 3 mois, de juin à octobre). Elles peuvent être consommées sous plusieurs formes : couscous, tô, bouillie. Les couscous sont des plats à base de farine de céréales à grains libres peu adhésifs entre eux. Les tô sont faits en pâte de farine bouillie puis refroidie. Durant les repas, ces céréales sont consommées avec différentes sauces, viandes et légumes.

3 – Problèmes socioculturels liés aux régimes alimentaires

Au Mali, l'établissement et le maintien des relations humaines passent, par le partage de la nourriture. Les gens consomment ensemble dans un plat commun. Ce mode d'alimentation, à la main dans un plat commun avec les membres de la famille, pose de nombreuses difficultés aux personnes diabétiques pour le suivi d'un régime alimentaire spécifique. L'utilisation du plat commun n'est pas forcément adaptée aux régimes du patient et la consommation à la main empêche le contrôle de la quantité d'aliments ingérés. Pour contourner ceci, les médecins conseillent aux malades de suivre leur propre régime alimentaire ou alors de mesurer ce qu'ils mangent au plat commun avec une mesure (exemple : bol Sada Diallo) [7]

Là aussi, plusieurs difficultés apparaissent :

- Pour s'isoler du plat commun et suivre son propre régime, il faut avoir une certaine indépendance financière pour pouvoir payer ses condiments.
- La personne qui mange seule après avoir pris sa ration dans le plat commun rapporte très souvent qu'elle vit ceci comme une désocialisation, qu'elle est progressivement mise à l'écart du groupe. Elle préfère souvent revenir manger à la main avec tout le monde plutôt qu'être rejetée seule avec son bol.
- Les personnes habituées à manger à la main se retrouvent au bol avec une beaucoup plus petite quantité d'aliments ingérés et un sentiment de faim persistante.

Le manque d'éducation spécialisée, de soutien de la famille, de l'entourage rend souvent le suivi du régime difficile. Il est également très difficile de faire suivre un régime comportant des aliments qui ne font pas partie des habitudes alimentaires des patients. Celles-ci étant directement reliées au niveau socio-économique, à l'origine ethnique et géographique des malades.

La prise de poids est considérée comme une réussite sociale, un signe de bonne santé, de prospérité. Il est important d'être très bien portant (médicalement en surpoids ou obésité). En particulier, la femme doit être très bien portante pour refléter le bon soin que lui porte son mari. En parallèle, on sait que le surpoids et l'obésité sont les principaux facteurs de risque du diabète sucré.

La perte de poids est considérée comme un signe de maladie, de difficultés financières, de difficultés dans le couple. Pour les personnes en surpoids flagrant, dont la prise en charge médicale nécessite un régime avec une perte de poids drastique, il sera très difficile, aux médecins, de prescrire ce traitement [7].

4 – Importance de connaître les index glycémiques et les réponses glycémiques post prandiales des céréales consommées au Mali

La notion d'index glycémique a été introduite par Jenkins en 1981[12]. L'index glycémique (IG) permet de classer des portions d'aliments contenant des quantités équivalentes de glucides disponibles en fonction de leur potentiel d'élévation du taux de glucose dans le sang. L'index glycémique est défini comme le pouvoir hyperglycémiant, c'est à dire la capacité pour un aliment de faire monter le taux de sucre dans le sang, d'un aliment donné par rapport à un aliment de référence, en général le glucose ou le pain blanc (IG = 100). En pratique, deux aliments contenant la même quantité de glucides n'ont pas le même pouvoir hyperglycémiant, indépendamment de leur structure biochimique. La notion d'index glycémique renvoie donc à un degré de digestibilité enzymatique des amidons au niveau de l'intestin grêle, les glucides non absorbés étant transformés au niveau du colon par fermentation bactérienne en acides gras à courtes chaînes [6]. Il existe donc physiologiquement une mauvaise digestion des glucides amylacés, variable selon l'origine botanique des amidons, la préparation industrielle, la cuisson, l'association à des graisses. Les valeurs de l'IG des aliments varient, certains suscitant la même réponse glycémique que le glucose lui-même (IG de la Datte = 103 [8]). L'IG est très utile pour choisir les aliments à base de glucides en vue d'améliorer les performances des régimes et donc la santé des malades [5].

La mesure de l'IG [9, 10] sert à évaluer « l'aire sous la courbe » de la réponse glycémique après ingestion d'un aliment glucidique à tester, exprimé en pourcent de l'aire sous la courbe

de la réponse glycémique après ingestion d'une quantité équivalente de glucides de référence (glucose ou pain blanc) (Figure 1). La quantité de glucides utilisée pour le calcul des index est standardisée. Elle est de 25 ou 50g.

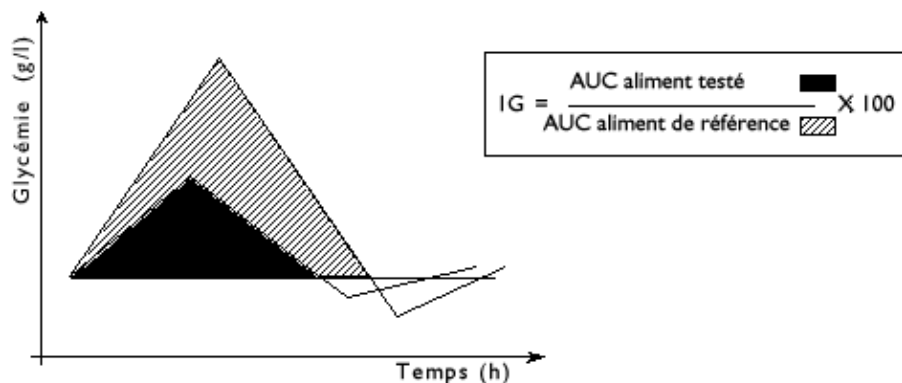


Figure 1: Méthode de calcul de l'index glycémique

Il existe, malgré tout, des variations individuelles de la réponse glycémique, et un même aliment peut avoir un index glycémique différent selon son mode de préparation ou le traitement technologique qu'il a suivi.

Des valeurs repères ont été proposées pour mettre en place une classification simple des aliments sous la forme de trois catégories [8]:

- Index glycémique bas : $IG \leq 55$
- Index glycémique moyen: $55 < IG \leq 70$
- Index glycémique élevé : $IG > 70$

Les réponses glycémiques post prandiales sont la capacité d'un aliment à augmenter le taux de sucre dans le sang après ingestion. Il est important de connaître les réponses glycémiques post prandiales des aliments pour pouvoir calculer les IG des ces aliments.

Au Mali, une seule étude sur l'IG a été effectuée, mais ne portait que sur le fonio [11]. Cette étude ne tenait pas compte des céréales les plus consommées dans l'alimentation traditionnelle du Mali.

5 - La glycémie

La glycémie est le taux de glucose dans le sang. La valeur normale varie entre 0,70 g/l et 1,10 g/l (ou 3,9 mmol/l et 6,10 mmol/l, il s'agit là des unités internationales) [12]. On parle de diabète lorsque la glycémie est supérieure à 1,26 g/l à jeun (7 mmol/l) au moins à deux reprises. On est également diabétique si, quelque soit le moment de la journée, la glycémie est supérieure à 2g/l au moins à deux reprises [12].

La glycémie représente la concentration de sucre dans le sang. Le sucre est la principale source d'énergie de notre corps ce qui nous permet de faire les mouvements et de renouveler nos cellules. Tous les aliments contiennent du sucre mais à des proportions et digestibilités différentes.

6 – La table de composition des aliments du Mali (TACAM)

La TACAM a été réalisée dans le cadre du Projet SSE¹ sur l'analyse des nutriments des échantillons d'aliments collectés dans 5 régions (Mopti, Ségou, Tombouctou, Bamako et une partie de Kayes) de 1998 à 2002 et des données tirées d'autres sources comme FAO 1968, CTA/ECSA1988, CIQUAL/CNEVA 1993. Le choix des aliments analysés, présentés dans cette table, a été basé sur les résultats de cinq études nutritionnelles effectuées dans différentes régions du Mali de 1990 à 1997.

La table de composition des aliments inclut les valeurs nutritives des aliments les plus consommés au Mali. Dans la période 1998 – 2002, 1759 échantillons primaires provenant de 5 régions du Mali ont été collectés. De cela, 94 échantillons composés ont été évalués, comportant 1064 analyses de laboratoire de 15 nutriments différents. Le reste des chiffres a été pris dans d'autres tables de compositions.

Toutes les valeurs tabulaires se rapportent au contenu par 100g d'aliment comestible c'est-à-dire l'aliment sans os, peau, coquille, noyau ou autres parties qui normalement ne sont pas consommées. La partie comestible d'un aliment est indiquée en pourcentage.

Le profil de gélatinisation est la masse visqueuse résultant du gonflement et de la dispersion colloïdale d'amidon ou de féculé en milieu aqueux (en présence ou en absence de réactifs chimiques, à température ordinaire ou sous l'action de la chaleur. La connaissance du profil de gélatinisation nous permet d'avoir une réponse sur la digestibilité de nos aliments. L'élévation de la teneur en amylose, la température de cuisson et l'hydratation importante des céréales, sont responsables d'une gélatinisation importante des amidons de ces céréales. La viscosité maximum est atteinte à 82° pour chacune de nos céréales (sauf le maïs : viscosité maximum = 73°) [11, 14].

Par 100 g de portion mangeable (per 100 grams edible portions)								
Nom Français	Eau g	Energie Kcal	Protéines g	Graisse g	Glucides g	Amidon g	% Amylose De l'amidon	Profil de Gélatinisation
Fonio grain blanc entier	11,2	326	7,1	3	67	67	24,3	69-75-82
Maïs farine blanche	12	353	8	1	77	74	25	62-69-73
Mil farine sans son	12	313	8	3,2	62,5	61,1	26,6	68-73-82
Riz blanc poli	11	345	6,1	0,5	78,2	78,2	18-22	63-72-80
Sorgho farine	11	349	10,4	1,7	72,2	71,4	24,2	70-75-81

Tableau 1: Composition biochimique et profil de gélatinisation des principales céréales consommées au Mali [4 ; 11]

¹ Le Programme SSE (Programme Sahel-Soudan-Ethiopie) sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle a été financé par le Ministère Norvégien des Affaires Etrangères et le Conseil Norvégien de la Recherche

II – Objectifs

L'objectif général de cette étude est de déterminer l'index glycémique des principales céréales consommées au Mali : mil, sorgho, fonio, maïs et le riz par rapport à l'aliment de référence : le pain blanc en tenant compte des formes de préparation des aliments.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- Déterminer le pic d'hyperglycémie pour chacune des céréales étudiées,
- Comparer les différentes céréales en fonction de leur index glycémique,
- Comparer les différentes formes de préparation étudiées en fonction de leur IG,
- Orienter le choix des aliments pour les patients diabétiques.

III – Méthodologie

Une étude prospective de recherche s'est déroulée de janvier à novembre 2005. Onze personnes volontaires, en « bonne santé », ont été recrutées en utilisant un échantillon de convenance dans le District de Bamako.

1 – Recueil des données

Les données suivantes des personnes ont été recueillies:

- Sexe
- Age
- IMC
- Glycémies à jeun

2 - Critères d'exclusion:

- Les personnes sous prescription médicale,
- Les patients diabétiques.

3 - Protocole expérimental :

Les 5 principales céréales consommées au Mali ont été testées: fonio, mil, maïs, riz. Ces aliments sont testés sous différentes formes:

- Fonio: couscous
 - Riz: blanc
 - Sorgho: couscous et Tô
 - Mil: couscous et Tô
 - Maïs: couscous et Tô
- Les couscous sont préparés de deux manières. La préparation du « Bassi » se fait à partir de la farine blanche du mil, du maïs et du sorgho. La farine est passée au tamis, on y ajoute de l'eau ensuite des petites boules sont reformées manuellement. Une fois les boules reconstituées, la préparation est passée sur le feu dans une couscoussière. Il faut réaliser trois passages au couscoussier en laissant reposer la préparation quelques minutes

entre chaque passage. Le couscous de fonio est également préparé avec trois passages dans le couscoussier. Cependant, la préparation ne se fait pas à partir de la farine de fonio mais du grain de fonio blanchi.

- La préparation du tô se fait à partir de la farine blanchie de mil, sorgho et maïs. Il faut faire bouillir de l'eau, lorsqu'elle est à ébullition deux verres d'eau chaude sont enlevés et mélangés dans unealebasse avec 2 verres d'eau froide plus de la potasse. La farine est ajoutée dans cette eau devenue tiède. Ensuite ce mélange est remué avec une cuillère jusqu'à l'obtention d'une bouillie. La bouillie est versée dans de l'eau chaude d'une marmite et malaxée pendant 15 minutes. Ensuite le reste de la farine est rajoutée. Cette mixture est remuée jusqu'à l'obtention progressive d'une pâte.

Les deux modes de préparation et les données biochimiques sont basés sur la TACAM.

Chacune des céréales sèches a été ramenées à une teneur en glucide de 50g, en tenant compte de leur composition biochimique. La nourriture de base était 100 g de pain blanc équivalent à 50 g de glucides.

Céréale	Grammes de glucides dans 100 g de céréale	Grammes de céréale pour 50 g de glucides
Fonio	67,0	74,6
Maïs	77,0	64,9
Sorgho	72,2	69,3
Riz	78,2	63,9
Mil	62,5	80

Tableau 2: représentation des différentes céréales ramenées a 50 g de glucides.

Nous avons calculé et cuit la quantité équivalente de glucide en céréale sèche pour onze personnes (exemple : pour le mil $80 \times 11 = 880\text{g}$ sec ont été préparé). Puis après cuisson, nous avons réparti la quantité totale de céréales cuites entre les différentes personnes de façon équitable à l'aide d'une balance ultra sensible (SOEHNLE, poids Max 2k).

Le jour du test, les sujets étaient à jeun depuis 13h de temps. Chaque patient a été testé 2 fois durant une période d'une semaine pour chacune des recettes.

Lors de la 1^{ère} épreuve, chaque patient consommait 100g de pain blanc (50g de glucides), afin d'obtenir la référence (index glycémique=100). Lors des épreuves suivantes, chaque patient consommait une quantité d'aliment correspondant à 50g de glucides.

Il avait été demandé aux sujets de ne pas pratiquer d'activités physiques inhabituelles, de garder une alimentation normale en évitant la prise de légumes et d'alcool.

La première mesure de glycémie, au temps « T = 0 », est réalisée avant l'ingestion du repas. Ensuite les sujets, placés au calme, ingèrent leur repas (pain blanc ou aliments testés). Les prélèvements sanguins suivants ont été réalisés à T = 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 et 120 min (pain blanc ou aliments testés).

Les glycémies ont été mesurées par la méthode au glucose oxydase à partir de sang capillaire prélevé sur le doigt des sujets, grâce aux appareils à glycémie Accu-Chek Active du laboratoire Roche. [15]

L'aire sous la courbe de la glycémie a été calculée de manière géométrique (FAO/WHO) [16]. La ligne correspondant à la glycémie à jeun a été choisie comme ligne de base. Les résultats ont été comparés en utilisant l'analyse de variance et le test t de student. Les différences sont dites significatives lorsque $p < 0,01$.

Les données statistiques ont été calculées et saisies en utilisant le logiciel Epi info version 6.04fr et Microsoft Word 2003

IV – Résultats

1 – Caractéristiques cliniques des sujets

N° Patient	Sexe	Age (Années)	Poids (Kg)	Taille (m)	Indice masse corporelle (Kg/m ²)	Glycémie a jeun (g/l)
1	M	36	69	1,77	22,0	0,806±0,037
2	M	55	62	1,72	20,9	0,821±0,043
3	M	32	61	1,75	19,9	0,797±0,042
4	M	30	53	1,71	18,1	0,778±0,031
5	M	32	63	1,73	21,0	0,809±0,037
6	F	25	56	1,65	20,6	0,797±,050
7	M	28	59	1,68	20,9	0,831±0,042
8	F	24	62	1,73	20,7	0,853±0,034
9	M	29	87	1,85	25,4	0,783±0,051
10	F	23	60	1,77	19,1	0,786±0,050
11	F	29	103	1,64	38,3	0,814±0,043
Moyenne ± écart type		31,18±8,77	66,82±14,94	1,73± 0,06	22,47±5,56	0,807±0,022

Tableau 3: caractéristiques cliniques des sujets

▪ Les glycémies à jeun pour l'ensemble des personnes ne présentaient pas de différence significative ($p < 0,01$).

2 – Glycémies post prandiales après ingestion des différentes céréales

2 – 1 Ensemble des glycémies de T=0 à T= 120

Les résultats des glycémies pour les différentes céréales sont présentés dans le tableau 4.

Repas	Glycémie (g/l) ± écart type								
	T=0	T=15	T=30	T=45	T=60	T=75	T=90	T=105	T=120
Pain blanc	0,819 ± 0,046	1,031 ± 0,077	1,187± 0,084	1,304 ± 0,076	1,378 ± 0,112	1,378 ± 0,112	1,175± 0,113	1,111± 0,088	1,048± 0,073
Riz Blanc	0,824 ± 0,05	1,101 ± 0,08	1,241± 0,106	1,208 ± 0,107	1,124 ± 0,147	1,046 ± 0,122	0,978± 0,092	0,929± 0,079	0,894± 0,091
Mil Couscous	0,799 ± 0,033	0,981 ± 0,091	1,117± 0,124	1,102 ± 0,084	1,063 ± 0,114	0,992 ± 0,106	0,942± 0,090	0,889± 0,079	0,847± 0,080
Fonio Couscous	0,817 ± 0,065	0,980 ± 0,08	1,116 ± 0,107	1,131 ± 0,095	1,102 ± 0,114	1,030± 0,108	0,989 ± 0,106	0,949 ± 0,089	0,926 ± 0,067
Sorgho Couscous	0,794 ± 0,031	0,978 ± 0,074	1,143 ± 0,119	1,155 ± 0,077	1,089 ± 0,101	1,029 ± 0,083	0,965 ± 0,096	0,900 ± 0,092	0,854 ± 0,077
Maïs Couscous	0,809 ± 0,035	0,994 ± 0,075	1,174 ± 0,110	1,175 ± 0,106	1,118 ± 0,121	1,056 ± 0,116	0,998 ± 0,121	0,947 ± 0,098	0,900 ± 0,095
Tô mil	0,789 ± 0,052	1,04 ± 0,077	1,228 ± 0,118	1,85 ± 0,120	1,111 ± 0,123	1,034 ± 0,10	0,978 ± 0,087	0,903 ± 0,068	0,847 ± 0,058
Tô Sorgho	0,821± 0,045	1,098 ± 0,087	1,256 ± 0,113	1,255 ± 0,126	1,171 ± 0,109	1,091 ± 0,107	1,006 ± 0,089	0,945 ± 0,082	0,889 ± 0,052
Tô maïs	0,791 ± 0,038	1,108 ± 0,093	1,284 ± 0,107	1,224 ± 0,088	1,150 ± 0,107	1,060 ± 0,086	0,971 ± 0,092	0,901 ± 0,071	0,866 ± 0,061

Tableau 4: représentation des glycémies, pour chaque aliment testé, obtenues entre T=0 et T=120

▪ **La moyenne des glycémies à T=0**

La glycémie à T=0 a servi de vérification que les personnes étaient bien à jeun. ($p < 0,01$).

▪ **A T= 15 on pouvait noter une différence significative ($p<0,01$) entre:**

- le riz blanc, et les couscous de mil, de fonio, de sorgho, et de maïs.
- le tô de sorgho et les couscous de mil, de fonio, de sorgho, et de maïs
- le tô de maïs et les couscous de mil, de fonio, de sorgho, et de maïs

▪ **A T= 30 on pouvait noter une différence significative ($p<0,01$) entre:**

- le riz blanc et les couscous de mil, de fonio, et de sorgho
- le couscous de mil et les tô de mil, de sorgho, et de maïs
- le couscous de sorgho et les tô de sorgho, et de maïs
- le couscous de maïs et le tô de maïs

▪ **A T= 45 on pouvait noter une différence significative ($p<0,01$) entre:**

- le riz blanc et le couscous de mil
- le couscous de mil et les tô de sorgho et de maïs
- le couscous de fonio et le tô de maïs
- le couscous de sorgho et les tô de sorgho et de maïs:

▪ **La moyenne des glycémies comprises entre T=60 et T=120**

L'ensemble des aliments testés ne présentait pas de différences significatives ($p < 0,01$).

2 – 2 Courbes d'évolution de la glycémie pour les différents aliments testés

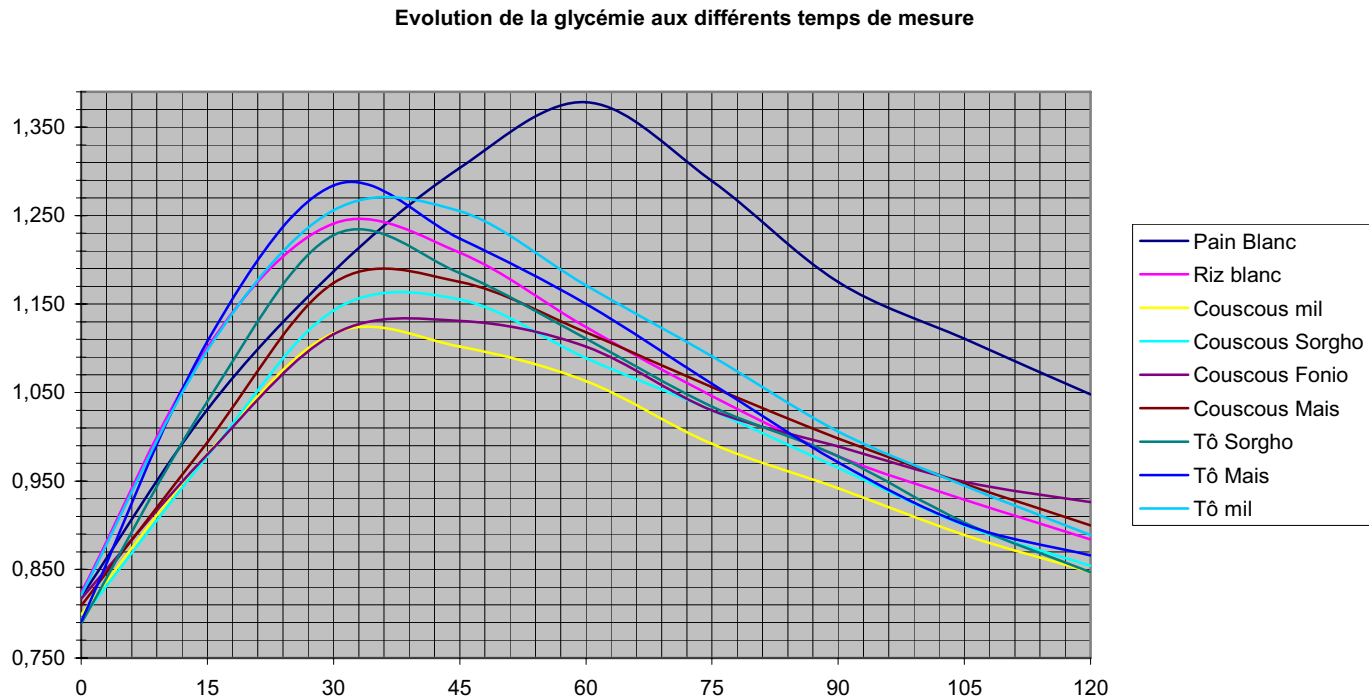


Figure 2: représentation des courbes d'évolution de la glycémie (g/l) aux différents temps de mesure (min) pour les différents aliments testés

- Le pic d'hyperglycémie se situait à T=30 minute pour le couscous de mil, le riz blanc, le tô de mil, le tô de sorgho et le tô de maïs.
- Le pic d'hyperglycémie se situait à T=45 minute pour le couscous de fonio, le couscous de sorgho et le couscous de maïs.

2 – 3 Mesure des aires sous la courbe

Les résultats des aires sous la courbe sont présentés dans le tableau 5.

Repas	Aire sous la courbe (mmol/min/l)
Pain blanc	238,0 ± 36,68
Mil couscous	127,6 ± 19,795
Fonio couscous	135,6 ± 25,365
Sorgho couscous	144,8 ± 22,578
Maïs couscous	153,5 ± 26,601
Riz Blanc	158,1 ± 26,840
Tô mil	165,2 ± 26,793
Tô sorgho	175,8 ± 35,231
Tô maïs	182,8 ± 30,503

Tableau 5: mesure des aires sous la courbe des différents aliments testés (mmol/min/l)

- Le pain blanc, qui était l'aliment de référence de notre étude avait la plus importante aire sous la courbe. Ce qui nous a permis d'avoir des index glycémiques tous inférieurs à 100.
- Le couscous de mil avait la plus faible aire sous la courbe de notre étude.

2 – 5 Index glycémique

Les résultats des index glycémiques obtenus pour chacun des aliments testés sont présentés dans le tableau 6.

Repas	Index glycémique
Pain blanc	100 (Référence)
Mil couscous	53,6 ± 7,13
Fonio couscous	57 ± 8,73
Sorgho couscous	60,8 ± 6,24
Maïs couscous	64,5 ± 9,15
Riz Blanc	66,4 ± 7,00
Tô mil	69,4 ± 5,55
Tô sorgho	73,8 ± 11,64
Tô maïs	76,8 ± 8,28

Tableau 6: résultats des index glycémiques obtenus pour chacun des aliments testés.

Les différences significatives ou non entre les index glycémiques des différents aliments testés sont représentées dans le tableau 7. Lorsque l'on observe une croix dans une case ceci signifie qu'il n'y a pas de différences significatives des index glycémiques obtenus pour ces deux céréales ou ces deux formes de préparation.

	Mil couscous	Fonio couscous	Sorgho couscous	Maïs couscous	Riz Blanc	Tô mil	Tô sorgho	Tô maïs
Mil couscous	X	X						
Fonio couscous	X	X	X					
Sorgho couscous		X	X	X				
Maïs couscous		X	X	X	X	X		
Riz Blanc				X	X	X	X	
Tô mil				X	X	X	X	
Tô sorgho					X	X	X	X
Tô maïs							X	X

Tableau 7: représentation des différences significatives ou non entre les différents aliments testés

Le tableau 8 présente les différents index glycémiques obtenus et la quantité de céréales dans chacune des préparations.

	IG	Poids (g)
Mil couscous	53,6 ± 7,13	80
Fonio couscous	57 ± 8,73	74,6
Sorgho couscous	60,8 ± 6,24	69,3
Maïs couscous	64,5 ± 9,15	64,9
Riz Blanc	66,4 ± 7,00	63,9
Tô mil	69,4 ± 5,55	80
Tô sorgho	73,8 ± 11,64	69,3
Tô maïs	76,8 ± 8,28	64,9

Tableau 8: représentation des IG et de la quantité de céréale utilisé pour chaque préparation testée

V – Discussion

Au terme de notre étude nous avons pu déterminer l'index glycémique des principales céréales consommées au Mali.

Les Index Glycémiques (IG)

- L'index glycémique est défini comme le pouvoir hyperglycémiant, c'est à dire la capacité pour un aliment de faire monter le taux de sucre dans le sang, d'un aliment donné par rapport à un aliment de référence, en général le glucose ou le pain blanc (IG = 100).

Si notre aliment présente une aire sous la courbe importante ceci veut dire qu'il possède un index glycémique élevé et donc qu'il entraînera une élévation plus forte de la glycémie sur une période de 2 heures. Cette réponse post prandiale plus importante entraîne une plus forte insulino-sécrétion.

Pour un patient diabétique, il est donc plus intéressant d'ingérer des aliments possédant des IG faibles permettant de réduire l'insulino-sécrétion post prandiale.

- Dans notre étude, le couscous de mil et de fonio présentaient les index glycémiques les plus bas suivis par ordre croissant du couscous de Sorgho, de maïs, du riz blanc, du Tô de mil, du Tô de sorgho et du Tô de maïs.

En analysant les différences significatives, on a pu déterminer 3 classes dans les aliments testés lors du protocole :

- les IG faibles : couscous de mil et fonio
- les IG intermédiaires : couscous de Sorgho, de maïs, le riz blanc et le Tô de mil
- les IG élevés : Tô de sorgho et de maïs.

- Donc pour nos patients diabétiques maliens, il sera préférable de privilégier la consommation d'aliments à IG faibles (couscous de mil et fonio) et intermédiaires (couscous de sorgho, riz blanc et tô de mil) par rapport aux IG élevés (Tô de sorgho et de maïs).

Les Pics d'hyperglycémies

- Les diabétiques de type 2 présentent un retard dans l'insulino-sécrétion post prandiale. Un aliment possédant un pic d'hyperglycémie précoce présente un problème majeur pour les patients de type 2 car l'insulino-sécrétion va arriver après le pic d'hyperglycémie et ne permettra pas de concordance entre la réponse post prandiale et l'insulino-sécrétion.

On a vu précédemment que pour un patient diabétique, il était plus intéressant d'ingérer des aliments possédant des IG faibles qui permettront de réduire l'insulino-sécrétion post prandiale. Il sera aussi plus intéressant que cet aliment à IG faible présente un pic d'hyperglycémie retardé pour faire concorder au mieux la réponse post prandiale et l'insulino-sécrétion.

- Dans notre étude, les pics post prandiaux d'hyperglycémie étaient variables en fonction des céréales et des formes de cuissons. Les pics d'hyperglycémie post prandiaux étaient à T=30 minutes pour les Tô de sorgho, de maïs, le couscous de mil et le riz blanc. Les pics d'hyperglycémie post prandiaux tardifs étaient à T=45 minutes pour le Tô de mil, le couscous de maïs, de sorgho et de fonio.

En analysant les différences significatives, on s'aperçoit qu'il n'y a pas de différences à T=30 et T=45 pour le couscous de mil et de fonio. De même, il n'y a pas de différences significatives à T=30 et T=45 entre le couscous de sorgho, de maïs, le riz blanc et le Tô de mil. Les pics d'hyperglycémie à T=45 pour les Tô de maïs et de sorgho ne présentent pas de différences significatives. Cependant, pour ces deux formes de préparation, le pic à 30 min présente une différence significative avec toutes les autres céréales possédant un pic d'hyperglycémie à 30 min.

En superposant les résultats obtenus sur les IG et les pics, on n'obtient pas de différences significatives dans nos 3 classes d'IG. Cependant, on note qu'en plus de leurs IG élevés, les Tô de maïs et de sorgho présentent des pics élevés à 30 min.

Ce résultat renforce la recommandation précédente pour nos patients diabétiques maliens, qu'il sera préférable de privilégier la consommation d'aliments à IG faibles (couscous de mil et fonio) et intermédiaires (couscous de sorgho, riz blanc et tô de mil) par rapport aux IG élevés (Tô de sorgho et de Maïs).

Hypothèses

- *Profil de gélatinisation, T° gélatinisation et % amylose/amylopectine*

- Le pourcentage d'amylose conditionne fortement la réponse glycémique et insulinémique. L'amylose est une structure organisée en hélice très compacte, formée de molécules de glucose, maintenue par de fortes liaisons hydrogène. Pour les enzymes, elle est peu accessible et difficile à attaquer. Lors de la digestion, l'hydrolyse enzymatique des amidons contenant beaucoup d'amylose est plus difficile, ce qui va diminuer et mieux répartir dans le temps la quantité de sucres absorbables. Le contrôle glycémique sera d'autant mieux favorisé que la teneur de l'amidon en amylose sera élevée [16].

La température de gélatinisation de l'amidon représente la quantité de chaleur à apporter pour rompre les liaisons hydrogènes et détacher les chaînes de glucose. Lorsque le pic de gélatinisation est faible, l'amidon est rapidement dénaturé lors de la cuisson. Les chaînes de glucose seront libérées plus vite. Un amidon qui possède un pic de gélatinisation faible sera plus facilement attaqué et hydrolysé par les amylases². A l'inverse avec un amidon à haut pic, on aura une hydrolyse plus faible et donc moins de sucres à absorber.

- Le % d'amylose contenu dans nos différentes céréales ne présente pas de différences significatives. Le profil de gélatinisation le plus bas est celui de la farine de maïs puis par ordre croissant le riz blanc, la farine de mil, le fonio et la farine de sorgho. Si l'on tient compte uniquement de la forme de préparation, comme le couscous par exemple, on obtient un classement des IG qui suivent les profils de gélatinisation de l'amidon.

Cependant, si l'on tient compte des formes de préparations, on observe qu'avec la même farine, on a des index glycémiques plus élevés pour les préparations en Tô par rapport au couscous :

- Le Tô de mil a un IG plus important que celui du couscous de mil,
- Le Tô de sorgho a un IG plus important que celui du couscous de sorgho,
- Le Tô de maïs a un IG plus important que celui du couscous de maïs.

² Enzyme qui hydrolyse l'amidon.

Ces résultats montreraient que la gélatinisation semble plus importante dans les préparations sous forme de Tô. En effet, le mode de cuisson par ébullition, avec une température moyenne observée de 90° et une hydratation importante, semblent permettre d'atteindre une gélatinisation importante des amidons des différentes céréales testées (viscosité maximum atteinte à 82° pour nos céréales excepté le maïs, 73°).

En revanche, pour le couscous, le mode de cuisson à la vapeur donne une hydratation plus faible mais aussi un gradient dans la température à laquelle l'on a soumis nos céréales. La vapeur sort du couscoussier à une température avoisinant 90°. La vapeur passe à travers les céréales avant de sortir à l'air libre ce qui entraîne une température plus faible dans la céréale avec un gradient progressif de température dans les grains et entre les grains. Il semble que ce mode de préparation ne permette pas d'atteindre une gélatinisation totale des amidons, hors on sait que plus la viscosité d'un amidon est importante, plus l'amidon est accessible aux enzymes digestives donc hyperglycémiant.

Le mode de préparation influence la capacité à atteindre la température maximale de gélatinisation mais également la durée durant laquelle la céréale sera soumise à cette température et donc par conséquent la quantité d'amidon fortement gélatinisé. Comme on a vu précédemment, les couscous de mil, fonio, sorgho et maïs subissent un gradient de T° plus faible mais également un mode de préparation où la céréale est cuite en trois phases de 15 minutes avec entre chaque phase une sortie du feu de 5 min durant laquelle la température s'abaisse fortement. En revanche, pour le riz et les Tô, on a une céréale qui est mélangée à de l'eau bouillante durant 20 à 25 minutes suivant les préparatrices, ce qui implique une température très haute durant une longue période.

- Ces résultats montrent l'importance des propriétés biochimiques des amidons des différentes céréales mais surtout l'obligation de tenir compte de la forme de préparation dans les recommandations faites aux patients diabétiques.

- *Acides aminés insulino-sécréteurs*

La teneur en acides aminés insulino-sécréteurs (isoleucine, leucine et valine) des amidons de nos différentes céréales (mil=18,3, riz= 17,5, sorgho=22,4, fonio=19,2 et maïs=16) [11] ne présente pas de différences significatives, ce qui ne permet pas d'avoir une variabilité importante dans les réponses glycémiques post prandiales.

- *Fibres et lipides*

Les grains de nos différentes préparations ayant été blanchis, ils présentent une quantité de lipides et de fibres très faibles qui ne permet pas d'émettre des hypothèses sur leur rôle dans la variabilité des index glycémiques observés.

Limitations

Cette étude présente quelques limitations :

- Ce travail a porté sur un petit échantillon de 11 personnes adultes
- Nous avons préféré faire la glycémie capillaire, qui est beaucoup moins contraignante, que la glycémie centrale qui est certes plus précise. Par rapport à la glycémie capillaire, l'écart systématique moyen est de 4% par rapport à la méthode à l'hexokinase par déprotéinisation qui est la référence.
- Ce travail est une étude pilote, ce qui explique les difficultés pour réaliser des comparaisons bibliographiques.

VI – Conclusions

Le but de cette étude était d'évaluer le pouvoir hyperglycémiant des principales céréales consommées au Mali pour orienter le choix des patients diabétiques. Comme ces céréales sont la base de l'alimentation au Mali, une connaissance des IG est nécessaire pour donner des informations adéquates aux patients. Cependant, il ne faut pas oublier que ce travail porte sur des céréales brutes et que la réponse glycémique peut varier fortement suivant le contenu du bol alimentaire du malade. Malgré cette remarque, ce travail nous permet de tirer 5 grandes recommandations :

- Les aliments à IG bas tels que le couscous de mil et le couscous de fonio semblent mieux indiqués pour les patients diabétiques
- Les Tô doivent être moins consommés pour éviter une importante élévation de la glycémie. L'utilisation du Tô peut être intéressante dans la correction des épisodes d'hyperglycémie chez les patients diabétiques.
- Aucune des céréales n'est à déconseiller, mais il faut tenir compte de la quantité ingérée qui devrait être moins importante pour les Tô par rapport au couscous pour limiter l'hyperglycémie post prandiale.
- Les céréales étudiées sont consommées avec une sauce. En pratique, nous devons tenir compte de la qualité et donc de l'influence que pourrait jouer ces sauces additionnées.
- Les patients diabétiques, comme l'ensemble de la population, doivent être soumis à un régime équilibré. Les effets de la consommation d'aliments à index glycémique faible, sont :
 - L'amélioration des glycémies post prandiales et de l'hémoglobine glyquée
 - L'amélioration du profil lipidique (diminuer le taux sanguin de triglycérides, LDL cholestérol)
 - La prévention des maladies cardio-vasculaires

Cette recommandation dans la consommation des glucides complexes présente un intérêt si l'ensemble de la diététique du patient respecte les apports conseillés en protéines, lipides, vitamines, minéraux et fibres, mais également si le patient respecte les conseils donnés par le médecin sur la pratique de l'activité physique.

Bibliographie

1 - International Diabetes Federation.

Diabetes Atlas. ed. D. Gan. Brussels, Belgium, 2003

2 -Sidibé Y.

Étude du diabète en zone rurale au Mali. Bamako Thèse Med 1985 ; 39.

3 – King H. Aubert R. Herman W.

Global Burden of Diabetes, 1995–2025. Prevalence, numerical estimates, and projections
Diabetes care, volume 21, number 9, September 1998.

4 - Dembele M., Sidibe A.T., Traore H.A., Tchombou H.I.C., Zounet B., Traore A.K., Diallo D., Fongoro S.

Association HTA-diabète sucré dans le service de médecine interne de l'Hôpital du Point "G" à Bamako.

Médecine d'Afrique Noire, 2000

5-Wolever T.

Les glucides lentement digestibles, bénéfiques d'une alimentation à index glycémique bas.
Danone Nutritopics 2003; 28: 1-10.

6 -Andre Grimaldi

Guide pratique du diabète, Paris 1998 ; Édition spéciale : 39-49.

7 – Besançon S.

Analyse de la consommation des patients diabétiques maliens.

ONG Santé diabète mali, rapport final d'activité, Nov.2004 : 1-62

8 - Foster-Powell k, Holt SH, Brand-Miller JC.

International table of glycemic index and glycemic load values Am J Clin Nutr

9 - Jenkins D, Wolever T, Taylor R, et al.

Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange.

Am J Clin Nutr 1981; 34: 362–6.

10- Jenkins D, Jenkins A.

The glycemic index, fiber, and the dietary treatment of hypertriglyceridemia and J Am Coll Nutr 1987; 6:11

11 - BESANÇON S.

Etude de l'influence de la consommation de fonio dans le traitement du diabète sucré au Mali.

CIRAD, Mémoire de fin d'étude, Grenoble 2000 ; 1: 56-78.

2002; 76(1):5-56.

12- Grimaldi A, Heurtier A.

Critères diagnostiques du diabète de Type 2

Rev Prat 1999 ; 49 16.

13-Ingrid Barikmo, Fatimata Ouattara, Arne Oshaig

Table de composition d'aliment du Mali (TACAM)

HIAK OSLO 2004 ; 4 : 50-63.

14 - Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Le maïs dans la nutrition humaine. Report Fao.

Rome. 1993.

15- Roche diagnostics

2, Avenue du Vercors, B.P.59.F-38242 Meylan cedex, Mise en jour octobre 2003.

WWW.accu-check.com

16-Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).

Carbohydrates in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Rome 1998; 4: 14-18.

Publication à lire pour approfondir la notion d'Index Glycémique (IG)

Jenkins D, Wolever T, Taylor R, et al.

Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange.
Am J Clin Nutr 1981; 34: 362–6.

Jenkins D, Jenkins A.

The glycemic index, fiber, and the dietary treatment of hypertriglyceridemia and J Am Coll Nutr 1987; 6:11

Jenkins. DJA, Jenkins AL.

Nutrition principles and Diabetes: a role for “lente carbohydrate”? Diabetes care 1995 ; 18: 1491.

Kirwan JP, Campbell WW, Scheiber J, Evans WJ.

Effects of Moderate and High Glycemic Index Meals on Metabolism and Exercise Performance Metabolism 2001; 50 (7): 849.

American diabetes association Evidence-based

Nutrition principles and recommendations for the treatment and prevention of diabetes and related complications. Diabetes care 2002; 25 (1): 202-12.

Chenon D, Phaka M, Monnier H, Colette C, Orsetti A, Mirouze J.

Effects of dietary fiber on postprandial glycemic profiles in diabetic patients submitted to continuous programmed insulin infusion.
Am. J. Clin. Nutr 1984; 40 : 58-65.

Liljeberg H, Akerberg A, Björck M.

Effect of the glycaemic index and content of indigestible carbohydrates of cereal-based breakfast meals on glucose tolerance at lunch in healthy subjects.
Am. J. Clin. Nutr. 1999; 69: 647-655.

Ohwovoriole AE, Akinmokum A.

Effect of adding guar to some, Nigerian meals on postprandial plasma glucose levels in non-insulin dependent diabetics Nigerian Med. J. 20 (4): 156-158.

Grundy SM.

The optimal ratio of fat to carbohydrate in the diet.
Annual. Rev. Nutr 1999; 19 : 325-341.

Monnier. L, Colette. C, Percheron. C, Descomps. B.

Insuline, diabète et métabolisme du cholestérol.
Comptes rendus des séances de la société de biologie et de ses filiales.
1995 ; 189 (5) : 919-931.

Gold PE.

Role of glucose in regulating the brain and cognition
Am.J.Clin.Nutr. 1995; 61(4): 987-95.

Raccah. D, Coste. T, Gerbi. A.

Polyunsaturated fatty acids and diabetes, *Cahiers de nutrition et de dietetique.* 1997; 32 (6): 349-357.

Mann JI.

The role of nutritional modifications in the prevention of macrovascular complications of diabetes 1997; 46 (2): 125-130.

DeMarco HM, Sucher KP, Cisar CJ, Butterfield GE.

Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index.
Med.Sci.Sports Exerc. 1999; 31(1):164-70.

Jenkins DJ, Kendall CW, Augustin LS, Franceschi S, Hamidi M, Marchie A, Jenkins AL, Axelsen M.

Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am.J.Clin.Nutr.* 2002; 76(1):266S-73S.

Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielden H, Baldwin J, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV.

Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am.J.Clin.Nutr.* 1981; 34: 3626.

Björck I, Granfeldt Y, Liljeberg H, Tovar J, Asp NG.

Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am.J.Clin.Nutr.* 1994; 5: 699-705.

Englyst KN, Vinoy S, Englyst HN, Lang V.

Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *Br.J.Nutr.* 2003; 89: 329-40.

Ludwig DS, Dietary.

glycemic index and obesity.
J.Nutr. 2000; 130(2):280-3.

Normand S, Khalfallah Y, Louche-Pelissier C, Pachiaudi C, Antoine JM, Blanc S, Desage M, Riou JP, Laville M.

Influence of dietary fat on postprandial glucose metabolism (exogenous and endogenous) using intrinsically (13) C-enriched durum wheat.
Br.J.Nutr. 2001; 86: 3-11.

Ludwig DS.

The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. *JAMA* 2002; 287(18):2414-23.

Granfeldt Y, Drews A, Björck I.A

repas made from high amylose corn flour produce favorably low glucose and insulin responses in healthy humans.

J.Nutr. 1995; 125(3):459-65.

Leeds AR.

Glycemic index and heart disease.

Am.J.Clin.Nutr. 2002; 76(1):286-9.

Bornet F, Thibault JF

Technological treatments of cereals Repercussions on the physiological properties of starch.

Carbohydr.Polym. 1993; 21(3):195-203.

Colonna P, Leloup V, Buléon A.

Limiting factors of starch hydrolysis *Eur.J.Clin.Nutr.* 1992; 46 (2): 17-32.

Vinoy S, Gerard C, Lang V.

The glycemic index of cereal foods commonly consumed at breakfast depends on the type of food processing (abstract).

Ann.Nutr.Metab. 2001; 45(1):5.06.015.

Benton D, Parker PY.

1998; 67(4): 772-8. Guucose modulation of memory storage processing.

Behav.Neural Biol. 1986; 45(3):342-9.

Spieth LE, Harnish JD, Lenders CM, Raezer LB, Pereira MA, Hangen SJ, Ludwig DS.A

Low-glycemic index diet in the treatment of pediatric obesity.

Arch.Pediatr.Adolesc.Med. 2000; 154(9): 947-51.

Slabber M, Barnard HC, Kuyl JM, Dannhauser A, Schall R.

Effects of a low-insulin-response, energyrestricted diet on weight loss and plasma insulin concentrations in hyperinsulinemic obese females.

Am.J.Clin.Nutr. 1994; 60(1):48-53.

Frost G, Leeds AA, Doré CJ, Madeiros S, Brading S,

Dornhorst A.

Glycaemic index as a determinant of serum HDL-cholesterol concentration. *Lancet* 1999; 353(9158):1045-8.