

B22

BLUTAGE MANUEL DES FARINES DE SORGHO ET UTILISATION DIGESTIVE DE L'ENERGIE, DE L'AZOTE ET DE QUELQUES MINERAUX PAR LE RAT 1-2

A. CORNU *, I. MBOME LAPE **.

avec la collaboration technique de C. MENUNGA *** et L. NEONSI***

RESUME

L'utilisation digestive et métabolique de l'azote, du calcium, du magnésium, du sodium et du potassium a été étudiée dans trois régimes (A,B,C) à base de farines de sorgho se distinguant uniquement par leurs teneurs croissantes en indigestibles glucidiques. Les trois régimes sont comparés à un régime témoin T. La digestibilité du calcium dans le régime C (CUD=29) est très diminuée par rapport au régime T (CUD=39). Les trois régimes expérimentaux accusent une baisse significative de la digestibilité du magnésium (CUD=35) par rapport au régime T (CUD=42). La diminution de la digestibilité du potassium reste faible. Les pertes fécales en sodium sont observées uniquement avec des ingérés élevés en fibres. Le mode de préparation manuelle des farines de sorgho constitue un facteur déterminant de la biodisponibilité du calcium et du magnésium des régimes.

ABSTRACT

A study was made of the digestibility and metabolism of nitrogen, calcium, magnesium, sodium and potassium in three diets (A, B, C) based on sorghum flours and containing increasing amounts of indigestible carbohydrates. The three diets are compared to a control diet T. The digestibility of calcium in diet C (CUD = 29) is much lower than in diet T (CUD = 39). All three experimental diets show a significant drop in the digestibility of magnesium (CUD = 35) compared to diet T (CUD = 42). There is little reduction in the digestibility of potassium. Fecal losses of sodium occur only with increasing intake of fibre. Manual preparation of sorghum flours is a decisive factor in the bioavailability of calcium and magnesium in the diets.

INTRODUCTION

Les effets de l'ingéré en fibres alimentaires ont été largement décrits (LAURENT B. 1983). Dans un travail précédent les pertes azotées et lipidiques ont été évaluées chez des individus dont l'alimentation est constituée pour l'essentiel d'un régime à base de céréales (sorgho) préparées manuellement et accusant ainsi un taux de blutage très faible (CORNU A. 1981-1986). Les pertes fécales en deux nutriments essentiels sont importantes car elles peuvent très certainement contribuer à la non satisfaction des besoins nutritionnels de ces populations. Il n'a pas été possible de traiter simultanément l'aspect minéral de l'alimentation, la mesure des bilans imposant des contraintes techniques difficiles à tenir dans une expérimentation chez l'homme.

Il s'avère que certains travaux menés dans d'autre pays, tel l'Iran, (REINHOLD JG. 1973 et 1975) ont montré que des populations rurales dont l'alimentation est riche en fibres alimentaires présentent une forte prévalence de carences minérales. Les régimes alimentaires qui ont été étudiés dans la province du Nord-Cameroun ont donc

* Nutritionniste. ORSTOM.

** Nutritionniste. MESRES.

*** Centre de Nutrition, BP. 6163 Yaoundé, Cameroun.

été testés ultérieurement chez le rat afin d'apprécier la biodisponibilité de certains minéraux et de la comparer à celle d'un régime témoin. Le sodium et le potassium ont été retenus car ils sont les deux principaux cations des compartiments extra et intracellulaire ; le calcium et le magnésium l'ont été car ils sont les plus susceptibles de développer une carence d'apport compte tenu des besoins élevés des individus en croissance. L'étude présente s'attache à mesurer des effets globaux et ne prend pas en compte les effets liés directement soit aux phytates soit aux fibres proprement dites.

MATERIEL ET METHODES

Animaux

Des rats mâles de souche Wistar Ico : WI(TOPS AF/Han) élevés dans des locaux éclairés de 6 à 18h, maintenus à 22° C et dont le degré hygrométrique est maintenu constant (60 p. cent), reçoivent un régime standard depuis le sevrage jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids de 80 g. Ils sont alors repartis en quatre lots de six dont les poids moyens ne diffèrent pas les uns des autres de plus de 2 g. Chaque animal est placé dans une cage à métabolisme individuelle en acier et reçoit le régime ad libitum sous forme semi-liquide. Les mesures de bilan sont réalisées au cours de la phase pré-pubertaire de la croissance. Une période d'adaptation de 7 jours précède deux périodes de mesures étalées sur 2 x 6 jours. La mesure de la digestibilité apparente est effectuée sur la première période de six jours. Les mesures de l'indice de consommation, du coefficient d'efficacité protéique, du coefficient de rétention azotée et du coefficient d'utilisation pratique de l'azote sont réalisées sur une période de douze jours.

Régimes

Un régime synthétique de contrôle (T) et trois régimes expérimentaux (A,B,C) sont étudiés. Les régimes expérimentaux (tableau 1) sont à base de farine de sorgho et d'une sauce riche en protéines animales et en lipides (42% viande cuite de zébu + 13 % oignon frais + 18 % feuilles séchées de baobab + 27 % huile de coton). Les régimes expérimentaux diffèrent essentiellement par leur teneur en insoluble formique (tableau 2) apportée respectivement par une farine de sorgho blutée manuellement une farine entière et une farine entière surchargée en issues de meunerie. Pour 100g de farine entière on trouve 90 g de particules dont la taille est inférieure à 28 mesh (0,630mm) et 10g de particules dont la taille est comprise entre 28 et 16 mesh (0,630 et 1,000mm).

Les quatre régimes ont été établis de telle sorte que :

- le taux protéique de la ration soit 120 g par kg MS
- la concentration énergétique soit de 4500 kcal par kg MS
- les apports en acides aminés soient au moins égaux aux besoins
- les macroéléments (Ca, P, Mg, Na, Fe) faisant défaut sont ajoutés aux besoins. Tous les oligoéléments sont ajoutés, ainsi qu'un mélange vitaminique préparé au laboratoire. Les besoins du rat ont été décrits ailleurs (PAWLAK 1986).

Les rats reçoivent de l'eau déminéralisée ad libitum.

Dosages

Les matières sèches ont été déterminées par séchage à l'étuve à 110° C, les macroéléments par photométrie de flamme (Ca, Mg, Na, K) et colorimétrie (P, Fe), et l'azote par la méthode de kjeldahl. Les acides aminés des aliments à enlever sont

Tableau 1 : Préparation des mélanges alimentaires testés dans les régimes (g MS/kg)

	Sauce	Farine	Issues de meunerie	Teneur en	
				Insoluble formique	matière azotée
Mélange alimentaire A	120	880 blutage	--	24,0	87,6
Mélange alimentaire B	120	880 entière	--	42,0	94,4
Mélange alimentaire C	120	765 entière	115	50,0	95,1

Tableau 2 : Composition des régimes. (g MS/kg)

Régime	T	A	B	C
Mélange alimentaire	--	855	884	882
Caséine	126,0	38,0	29,5	34,3
Amidon de blé	709	--	--	--
Huile d'arachide	64,0	--	--	--
Huile de maïs	20,0	19,0	19,7	19,6
Agar-agar	90,0	28,5	29,5	29,4
L-méthionine	2,2	1,2	1,1	1,0
L-arginine. HCl	1,6	0,2	--	--
ML-thréonine	--	1,3	0,8	--
L-lysine. HCl	--	2,7	3,5	3,5
Mélange minéral et vitaminique	47,2	54,1	31,9	31,2

Analyse des régimes (/kg MS)

	Kcal	4345	4520	4471	4486
Energie					
Matière azotée	g	122,9	116,8	118,6	121,8
Na	g	4,92	4,95	4,90	5,06
K	g	9,05	3,54	4,58	4,86
Mg	g	0,97	1,30	1,39	1,31
Ca	g	11,19	9,10	9,99	9,73
Fe	mg	80	60	84	107
Insoluble formique	g	--	28,2	42,4	47,6

dosés après hydrolyse acide HCl 6N par chromatographie sur résine échangeuse d'ions. Les acides aminés soufrés sont dosés après oxydation performique. Le dosage des acides aminés a été réalisé par le Laboratoire d'Etude du Métabolisme Azoté, I.N.R.A. - Theix (Responsable Mr. R. PION).

Analyse statistique

La comparaison des observations a été réalisée par le test H de KRUSKAL et WALLIS (non paramétrique). La signification est donnée au seuil de 0,05 p, cent (STREEL RGD. 1960).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

RESULTATS

Consommation et croissance

Les quatre groupes de rats ont consommé des quantités de matière sèche statistiquement identiques ; il en est de même pour les quantités de matière azotée (tableau 3). On note que le groupe A est celui qui présente les valeurs de consommation les plus faibles. Le poids corporel moyen des rats ne diffère pas significativement dans chaque groupe (tableau 4). On remarque que les poids des groupes A et B sont très voisins alors que celui de groupe C est plus faible.

Tableau 3 : Consommation et croissance.

Régime	T	A	B	C	Test H
Effectif	6	6	6	6	
Matière sèche ingérée g/j	18,18 ± 1,38	17,07 ± 1,71	18,05 ± 0,92	17,40 ± 1,86	p > 0,05
Gain de poids g/j	6,97 ± 0,91	5,89 ± 0,93	6,57 ± 0,68	6,04 ± 1,11	p > 0,05
IC	2,63 ± 0,23	2,93 ± 0,25	2,77 ± 0,18	2,91 ± 0,25	p < 0,05
Matière azotée ingérée g/j	2,23 ± 0,17	1,99 ± 0,20	2,14 ± 0,11	2,12 ± 0,23	p > 0,05
CEP	3,12 ± 0,27	2,94 ± 0,25	3,06 ± 0,19	2,84 ± 0,25	p > 0,05

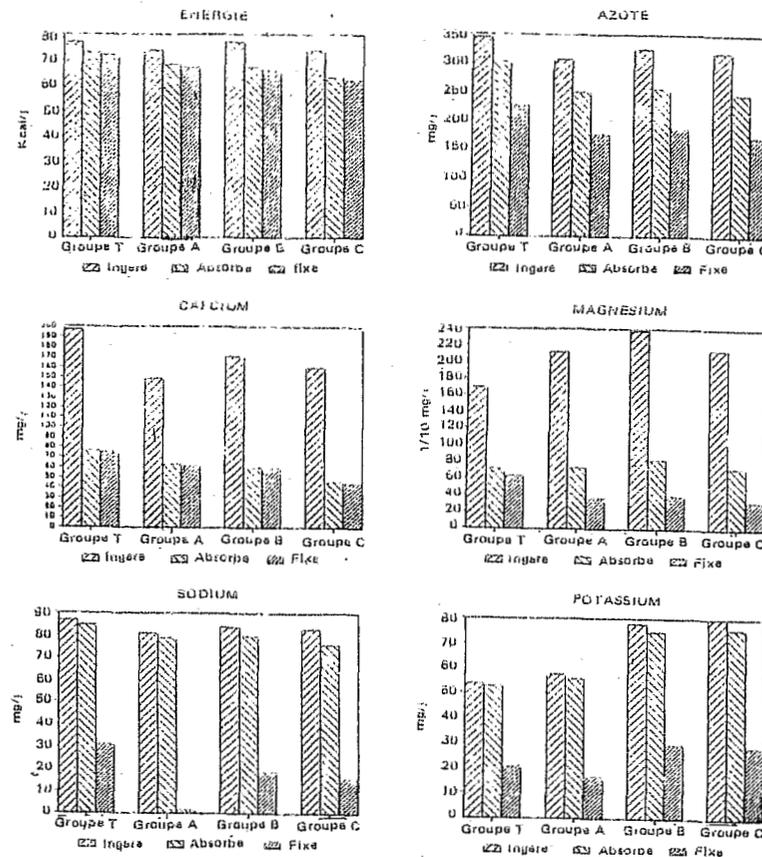
Tableau 4 : Poids moyen des rats. (g)

Régime	T	A	B	C	Test H
Effectif	6	6	6	6	
10	79,2	79,2	78,7	79,3	p > 0,05
10 + 19	206,8	202,3	203,7	190,2	p > 0,05

L'indice de consommation (IC = matière sèche ingérée/gain de poids) et le coefficient d'efficacité protéique (CEP = gain de poids/matière azotée ingérée) permettent d'évaluer la valeur azotée protéique des aliments. Bien qu'aucune différence significative n'ait été relevée entre les groupes on remarque que le CEP le plus défavorable est relevé dans le groupe C. L'indice de consommation du groupe A est médiocre, au même niveau que celui du groupe C.

Utilisation digestive et métabolique (figures 1 à 6).

L'augmentation progressive de la teneur en fibres dans les régimes est accompagnée par la réduction significative de l'absorption intestinale (CUDA = quantité absorbée/quantité ingérée) de la matière azotée et du coefficient d'utilisation pratique de l'azote (CUP = azote fixé/azote ingéré). Il n'y a pas de différence significative au niveau des coefficients de rétention azotée (CR = azote fixé/azote absorbé) tableau 5.



Figs. 1 à 6 : Effet du blutage sur l'utilisation digestive et métabolique de l'énergie, de l'azote, du calcium, du magnésium, du sodium et du potassium chez le rat.

Tableau 5 : Expérience de bilan.

Régime	T	A	B	C	Test H
Effectif	6	6	6	6	
CUDa MA	87,78 ± 0,54	81,70 ± 1,49	78,69 ± 0,98	77,34 ± 0,58	P < 0,01
CR	73,52 ± 2,34	70,90 ± 4,07	73,96 ± 3,38	70,19 ± 1,70	P > 0,05
CUP	64,69 ± 2,13	57,63 ± 3,46	57,86 ± 2,81	54,12 ± 1,67	P < 0,05
CUDa énergie	95,00 ± 0,22	91,01 ± 0,70	86,90 ± 0,33	85,72 ± 0,36	P < 0,01
CUDa Ca	38,62 ± 2,17	42,39 ± 6,71	35,28 ± 2,77	29,06 ± 1,56	P < 0,01
CUDa Mg	42,27 ± 3,45	34,64 ± 7,83	34,81 ± 5,73	34,56 ± 2,65	P < 0,02
CUDa K	97,92 ± 0,60	95,80 ± 0,51	95,22 ± 0,64	94,72 ± 0,58	P < 0,01
CUDa Na	98,16 ± 0,31	96,64 ± 0,61	95,20 ± 1,29	91,73 ± 2,14	P < 0,01

La digestibilité de l'énergie des régimes A et B est inférieure de 4 et 9 p. cent à celle du régime de contrôle.

Les modifications les plus nettes des CUDa concernent le calcium et le magnésium. Le CUDa du calcium baisse progressivement dans le régime B puis dans le régime C pour atteindre une valeur qui est 25 % moins élevée que celle du régime de contrôle. Les trois régimes expérimentaux ont une valeur du CUDa du magnésium 20 % moins forte que celle du régime témoin. Pour le potassium la diminution demeure très légère enfin il faut se placer dans des conditions d'ingéré en fibres pour observer une diminution de la digestibilité du sodium.

Bilan minéral et croissance.

Il existe une association entre la vitesse de croissance et les bilans en calcium, magnésium et à un moindre degré avec le sodium (tableau 6). Les pertes fécales en minéraux, à l'exception du calcium, sont très étroitement associées à l'ingéré en insoluble formique (tableau 6).

Tableau 6 : Relation entre bilan minéral et croissance. (n = 24)

Vitesse de croissance x bilan Ca	r = - 0,626	p < 0,01
Vitesse de croissance x bilan Mg	r = + 0,452	p < 0,05
Vitesse de croissance x bilan K	r = + 0,157	P > 0,05
Vitesse de croissance x bilan Na	r = + 0,455	P < 0,05

Relation entre l'insoluble formique ingéré et les pertes minérales fécales. (n = 24)

Insoluble formique ingéré x Ca fécal	r = + 0,044	P > 0,05
Insoluble formique ingéré x Mg fécal	r = + 0,854	P < 0,01
Insoluble formique ingéré x K fécal	r = + 0,948	P < 0,01
Insoluble formique ingéré x Na fécal	r = + 0,729	P < 0,01

DISCUSSION

La comparaison des quatre régimes étudiés ici montre qu'il n'y a pas entre eux de différence au niveau de l'utilisation métabolique de l'azote. Bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative les différences essentielles sont relevées au niveau de l'utilisation digestive de l'énergie et des autres nutriments, qui se détériore progressivement avec l'augmentation de l'ingéré en fibres alimentaires. Les conséquences de cet accroissement des pertes fécales sont visibles sur la croissance des animaux et sur les indices qui la mesurent. On observe donc bien les bilans minéraux les plus faibles chez les animaux qui ont les vitesses de croissance les plus réduites. Le potassium est exclu de cette observation : en effet les apports supplémentaires en potassium à l'addition d'issues de meunerie compensent l'accroissement des pertes fécales. De la même façon on ne retrouve pas de corrélation entre l'insoluble formique ingéré et la perte fécale en calcium. En effet les pertes fécales sont identiques dans les quatre groupes d'animaux, alors que les ingérés sont différents, supérieurs dans le groupe de contrôle.

Une mention particulière doit être faite pour le régime A qui s'avère être moins apte que le régime B à satisfaire la croissance des animaux. Il faut remarquer que ce régime est celui dont la teneur en matière azotée est la plus faible et qu'il a été en moyenne consommé en moindre quantité, même si la différence avec les trois autres régimes n'est pas significative. On peut donc admettre que cette restriction de l'ingéré en matière azotée a eu pour conséquence une croissance corporelle réduite des animaux du groupe A dont on aurait pu s'attendre à ce qu'elle soit intermédiaire de celles des groupes T et B.

La teneur en fibres des régimes étudiés a été appréciée par la teneur en insoluble formique, qui représente approximativement la somme cellulose + lignine + quelques générateurs de furfural. Les mesures des CUD prennent en compte de manière globale les effets combinés et de l'acide phytique. Les régimes ont été composés de telle sorte que dans la mesure du possible ils ne se distinguent que par le taux de blutage de la farine de sorgho. Les teneurs en potassium et magnésium des régimes riches en issues de meunerie dépassent les recommandations alimentaires. Cela permet de montrer, comme il a déjà été mentionné, que la rétention de potassium est augmentée dans ces régimes. Il n'en est pas de même avec le magnésium. La perte fécale en ce minéral augmente lorsque la part des apports en magnésium assurés par les issues de meunerie augmente. On peut donc s'attendre à ce que la biodisponibilité du magnésium contenu dans les enveloppes des graines de sorgho soit médiocre.

Il est difficile d'extrapoler à l'homme les résultats obtenus dans ce domaine avec le rat, notamment à cause de la présence d'une phytase au niveau de la muqueuse intestinale (BITAK 1972) qui peut atténuer les effets des fibres sur la biodisponibilité des minéraux.

Le sodium et le potassium sont deux électrolytes dont les bilans sont équilibrés par adaptation du débit urinaire ce qui assure une rétention conforme aux besoins. Ainsi les carences d'apports n'interviennent que comme facteurs adjuvants. Les pertes fécales, très légèrement accrues par l'ingestion de régimes alimentaires riches en fibres ne constituent pas, en l'absence de toute autre maladie, un risque de carence pouvant entraîner une hypokaliémie ou une hyponatrémie.

La biodisponibilité du calcium est très légèrement dépendante de l'ingéré en fibres alimentaires. Les apports alimentaires sont très liés à la consommation de produits laitiers et à un moindre niveau de fruits et de légumes, aliments dont on sait qu'ils sont très irrégulièrement consommés par la majorité des populations du Nord-Cameroun. Il y a donc un risque non négligeable pour les individus qui ont des besoins importants en calcium de ne pas pouvoir couvrir ces derniers. Ceci concerne les enfants, les adolescents, les femmes enceintes et allaitantes, en particulier celles dont les grossesses se succèdent à un rythme accéléré. Pour celles-ci le recours à la lyse osseuse est le seul mécanisme qui permet de retarder l'apparition d'une hypocalcémie.

Le magnésium intervient fortement dans la constitution du tissu osseux. Les résultats obtenus ici montrent que la biodisponibilité dans les trois régimes expérimentaux est fortement diminuée, heureusement compensée par une teneur élevée en magnésium dans les issues de meunerie. D'autres auteurs (VAN DOKKUM W. 1982) ont montré qu'il est aisé de rendre négatif le bilan en ce minéral en augmentant la teneur en fibres des régimes. On retiendra donc le risque élevé pour les populations concernées de ne pouvoir atteindre la satisfaction des besoins en magnésium avec des régimes alimentaires dépourvus de feuillages et d'aliments d'origine végétale.

On remarquera que les régimes testés dans cette étude sont équilibrés. Pour cela ils ont été largement complétés, notamment en azote, minéraux et vitamines. Ils se trouvent être en conséquence assez éloignés par leur composition du mélange alimentaire de base (tableau 1) qui est typique de l'alimentation des populations fortes consommatrices de céréales. Les résultats obtenus par l'expérimentation ne peuvent donc être confondus avec ceux qui auraient été enregistrés dans une série de mesures réalisées sur des individus consommant leur régime alimentaire habituel. Dans cette seconde alternative le taux d'indigestibles ne constitue plus l'unique facteur de variation et ses effets ne peuvent être étudiés isolément. Il apparaît nettement qu'en l'absence de tout autre apport supplémentaire le mélange alimentaire de base ne peut assurer à lui seul les apports en calcium et en magnésium recommandés pour la femme enceinte ou allaitante. Ainsi, bien que les résultats obtenus par l'expérimentation ne soient pas transposables à l'homme, on peut apporter une appréciation sur la valeur nutritionnelle de la ration quotidienne des populations consommatrices de sorgho en prenant en compte d'une part l'aptitude à couvrir les besoins et l'équilibre entre les différents nutriments d'autre part.

CONCLUSION

Les nombreux travaux qui ont été réalisés sur la biodisponibilité des minéraux n'aboutissent pas à des conclusions unanimes (PREXINOS J. 1979). L'acide phytique est considéré par certains comme le principal facteur causal des carences minérales (WILLS MR. 1972) ; pour d'autres il n'exerce aucun effet. Il en est de même pour les fibres alimentaires tantôt considérées comme un matériel inerte (CUMMINGS JH. 1979), tantôt comme un piège très puissant pour les minéraux. L'étude présentée ici montre que le mode de préparation manuelle des farines de sorgho a un effet direct sur l'utilisation digestive de nutriments essentiels pour l'entretien et la croissance de l'organisme : énergie, azote, calcium et magnésium. Les pertes fécales en azote et en magnésium consécutives à l'ingestion de farines de sorgho blutées avec soin sont accrues par rapport à celles enregistrées dans le régime témoin. Cette fuite en ces deux nutriments est à la fois maintenue et complétée par un débit fécal élevé et en énergie avec un régime alimentaire à base de farine entière.

Mots-clés : digestibilité, indigestibilité glucidique, énergie, azote, calcium, magnésium, sodium, potassium, sorgho.

BIBLIOGRAPHIE

- BITAK, REINHOLD LG., 1972 - Phytase and alkaline phosphatase activities in intestinal mucosae of rat, chicken, calf and man. *Biochim. Biophys. Acta* 268,442-452.
- CORNU A., DELPEUCH F., 1981 - Effect of fiber in sorghum on nitrogen digestibility. *Am. J. Clin. Nutr.* 34,2454-2459.
- CORNU A., DELPEUCH F., 1986 - Effets de l'ingéré en fibres alimentaires sur la digestibilité des lipides chez une population africaine consommatrice de sorgho. *Annals of Nutrition and Metabolism* (à paraître).

CUMMINGS JH, SOULANGATE DAF, BRANCH WJ, WIGGINS HS., 1979 - The digestion of pectin in the human gut and its effect on calcium absorption and large bowel function. *Br. J. Nutr.* 41,477.

PREXINOS J., 1979 - Intérêt des fibres alimentaires en pathologie digestive. *Ann. Nutr. Alim.* 33,2,199-210.

LAURENT B., 1985 - Etudes récentes concernant les fibres alimentaires. *Med. et Nutr.* 19,2,95-122.

PAWI AK M, PION R., 1968 - Influence de la supplémentation des protéines de blé par des doses croissantes de lysine sur la teneur en acides aminés libres du sang et du muscle du rat en croissance. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 6,517-530.

REINHOLD JG, HEDAYATI H, LAHMGARZADEH A, NASR K., 1973 - Zinc, calcium, phosphorus and nitrogen balances of Iranian villagers following a change from phytate-poor to phytate-rich diets. *Eco. Food Nutr.* 2,157-162.

REINHOLD JG, ISMAIL BEGI F, FARADJI F., 1975 - Fiber vs. phytate as determinant of the availability of calcium, zinc and iron of breadstuffs. *Nutr. Rep. Int.* 12,75-85.

STEEI RGD, TORRIE JH., 1960 - Principles and procedures of statistics. McGraw Hill, Inc., New-York.

VAN DOKKUM W., 1982 - Physiological effects of fibre rich types of bread - I - the effect of dietary fiber from bread on the mineral balance of young men. *Br. J. Nutr.* 47,3,451.

WILLS MR, PHILLIPS JB, DAY RC, BATEMAN EC., 1972 - Phytic acid and nutritional rickets in immigrants. *Lancet* 1,771.