

UNIVERSITE DE MONTPELLIER I

Unité de Formation et de Recherche de Médecine.

**INTERET DE L'ETUDE DE L'APTITUDE PHYSIQUE DANS L'EVALUATION DE
L'ETAT NUTRITIONNEL DE L'ENFANT.**

Thèse présentée pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER I (Nouveau Régime)

Formation Doctorale: Adaptation, Développement, Sport, Santé.

Groupe des disciplines du CNU:

Section 44; Sous-section 02: Physiologie.

par

Eric BENEFIGE

Chargé de Recherche, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en
Coopération (ORSTOM).

Soutenue le 28 novembre 1991.

Membres du jury Mme et MM:

René BAYLET Professeur, Université de Montpellier I, Président

Christian PREFAUT Professeur, Université de Montpellier I, Directeur de thèse

Jean COUDERT Professeur, Université de Clermont Ferrand, Rapporteur

Jana PARIZKOVA, Professeur, Charles University, Prague, Rapporteur

Jean Pierre DESCHAMPS, Professeur, Université de Nancy I, Rapporteur.

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ma gratitude auprès du Professeur **Christian Préfaut** qui m'a initié à la physiologie de l'exercice musculaire et à la pratique des épreuves d'effort. J'ai toujours trouvé auprès de lui la plus grande disponibilité et compréhension dans des conditions que les distances ne rendaient pas toujours facile; les portes de son laboratoire et de son service de l'hôpital Aiguelongue m'ont toujours été grandes ouvertes.

Une vieille complicité m'unit au Professeur **René Baylet** depuis que certain jour d'été 1975, il m'a proposé un sujet pour ma thèse de médecine. Je devais garder de cette expérience le goût du tropicalisme et la curiosité d'examiner sur place la réalité des situations. Le Professeur Baylet a longtemps résidé en Afrique et au Sénégal où il a conduit de nombreux travaux de microbiologie et de santé publique. Il connaît bien les populations qui sont décrites dans ce mémoire et sait l'attachement qu'elles inspirent aux médecins et aux chercheurs qui ont vécu auprès d'elles.

Je voudrais remercier le Professeur **Jana Parizkova** de l'Institut de Recherche en Education Physique de Prague, d'avoir bien voulu accepter de participer au jury de cette thèse. J'en suis extrêmement flatté car l'admiration que j'ai pour ses recherches a fortement influencé ma manière actuelle de travailler.

Le Professeur **Jean Coudert** est un des plus grands spécialistes de la physiologie de l'effort chez le jeune enfant et de la biologie d'altitude. De sa longue expérience bolivienne il a une connaissance personnelle des problèmes de développement et de croissance des enfants des pays en développement. Il a bien voulu me faire l'honneur d'être rapporteur de cette thèse, je lui en suis profondément reconnaissant.

Je dois payer un tribut spécial de reconnaissance au Professeur **Jean Pierre Deschamps**, que je connais depuis mon séjour à Nancy où, élève chercheur de l'ORSTOM, j'ai bénéficié de son enseignement du CES de Santé Publique et de l'Attestation de Pédiatrie Préventive. Par la suite il a bien voulu parrainer mes recherches à l'ORSTOM et être l'interlocuteur attentif et de bon conseil dans nous avons tant besoin dans nos affectations lointaines. Je le remercie d'avoir bien voulu être rapporteur de ce travail.

Les travaux qui font l'objet de cette thèse n'auraient jamais pu être réalisés sans des collaborations multiples. Au risque d'en oublier je dois m'efforcer de les citer toutes: mes amis de l'ORSTOM, S. Chevassus-Agnès, H. Bazal, F. et K. Simondon, G. Parent, D. Schneider, J.P. Lescure et tous mes collègues de l'UR des Maladies de dénutrition; Dr. AM Ndiaye Directeur de l'ORANA à Dakar (Sénégal); Jorge Uquillas, Dra Arias Pilar, Lic. Zoila Romo-Nunez, "Don" Vacas de l'INCRAE à Quito (Equateur); tous mes enquêteurs et collaborateurs de terrain qui se sont succédés: Seydou Dia, Ousseynou Gueye, Omar Sall, Daouda Ndiaye, Modou Mbow, Marianne tressol, Cheikh Ndiaye, Youkoubir Dieng, Alioune Dieng, Assane Diakhaté et les monitrices du jardin d'enfants du centre "Elisabeth Diouf" à Mbour.

Enfin, et surtout, mes partenaires bienveillants qui ont supporté inlassablement mes ennuyeuses enquêtes: gens de Tatki, Belel Bogue, Tessekré, Vidu Tiengoli, Luguéré Tioli dans le Ferlo; colons de Tarapoa, Shushufindi, Coca; Siona-Sécoyas de la commune indigène de San Pablo de Kantesi-Aya en Equateur; enfants de Diokhane, Ndongol, Lambaye, Mbour, Thialaga, Dodel, Diamandou au Sénégal, à tous je dis merci.

TABLE DES MATIERES.

Introduction.....	1
1er Partie: Les relations entre malnutrition, croissance et aptitude physique.....	5
I. Malnutrition, croissance et anthropométrie.....	6
1) La malnutrition des enfants.....	6
2) L'anthropométrie nutritionnelle.....	8
2-1) La classification actuelle.....	8
2-2) Dimension du problème.....	9
3) Malnutrition et croissance.....	9
II. Réponses de l'organisme à des apports alimentaires insuffisants.....	12
1) Séquence des réponses possibles.....	12
2) Mécanismes d'épargne énergétique.....	13
2-1) Diminution de l'activité physique.....	13
2-2) Diminution du métabolisme de base.....	15
2-3) Coût de la synthèse protéique.....	16
2-4) Changement de la structure musculaire....	16
3) Mise en jeu de ces mécanismes.....	17
3-1) Part des différents mécanismes.....	17
3-2) Les carences saisonnières d'apport.....	18
4) Y-a-t-il adaptation physiologique à des apports alimentaires insuffisants?.....	20
4-1) La théorie de l'adaptation "homéostasique"..	20

4-2) Relations malnutrition et aptitude: adaptation "homéostasique" ou adaptation "optimale"?	21
III. Malnutrition et aptitude physique	23
1) Aptitude de l'enfant normal	23
1-1) Définition de l'aptitude physique	23
1-2) Influence du milieu	25
1-3) Différences ethniques dans la capacité à supporter une charge	28
1-4) Développement de l'aptitude physique chez l'enfant normal	31
2) Aptitude physique des enfants exposés à la malnutrition	34
2-1) Conséquences biologiques des carences nutritionnelles	34
2-2) Malnutrition et aptitude physique: les observations recueillies sur le terrain	38
3) Capacité de travail et productivité	44
Conclusions	46
2em Partie: Travaux personnels	47
Introduction	48
1) Manifestations de la malnutrition	50
2) Les relations entre l'état nutritionnel et les capacités fonctionnelles des enfants	55
Conclusion générale	64
Bibliographie	66
Annexes	77

Liste des figures

- figure n° 1: Composition corporelle.
- figure n° 2: Activité physique des malnutris.
- figure n° 3: Relation structure/fonction.
- figure n° 4: VO2 max de divers groupes ethniques.
- figure n° 5: Ration alimentaire colons et indiens.
- figure n° 6: VO2 max relative des nageurs.
- figure n° 7: Poids et taille des filles.
- figure n° 8: Poids et taille des garçons.
- figure n° 9: Course et saut.
- figure n° 10: Lancer et CEI.
- figure n° 11: Comparaison malnutris et normaux.

RESUME

La malnutrition protéino-énergétique (MPE) est très fréquente dans le monde en développement. Elle se traduit par des retards de croissance en taille et des états de maigreur. Ces 2 facteurs, aggravés par une faible activité physique, peuvent avoir un effet négatif sur le développement de l'aptitude physique de l'enfant. Ces faits sont illustrés par une série de travaux personnels qui montrent la fréquence de la MPE dans les pays en développement et le ralentissement de la croissance des enfants; l'importance de l'activité physique et de l'entraînement dans les performances de l'enfant normal; le médiocre développement de l'aptitude physique et le faible niveau d'activité d'enfants Sénégalais légèrement dénutris. Ces observations ne confirment pas l'hypothèse d'un avantage fonctionnel conféré aux sujets de petites dimensions quand les apports alimentaires sont insuffisants. Au contraire, la médiocre aptitude physique des malnutris pose une interrogation sur leur avenir fonctionnel personnel et leur capacité à assurer leur subsistance de manière acceptable.

INTRODUCTION.

Chez l'enfant en croissance les performances réalisées au cours d'un exercice musculaire dépendent de sa condition physique. Ainsi la masse musculaire totale disponible, la masse grasse inerte qui constitue une charge supplémentaire, la longueur des leviers musculaires, l'importance des surfaces d'échanges pulmonaires ou vasculaires sont autant de facteurs limitants. Il existe des situations nutritionnelles très répandues dans lesquelles la constitution physique de l'enfant s'écarte notablement de la normale: l'obésité et le surpoids des enfants plus fréquents dans les pays développés et à l'opposé, le retard de croissance et la maigreur qui sont une manifestation de la malnutrition dans les pays en développement.

Ces deux situations de causes et de conséquences très différentes ont cependant en commun d'altérer l'aptitude physique des enfants et en particulier leurs performances au cours de l'exercice musculaire. Elles ont aussi en commun de constituer d'importants problèmes de santé publique.

L'existence de surpoids chez les enfants comme facteur indépendant de risque cardio-vasculaire a été mis en évidence par l'étude de Framingham (Hubert et al, 1983). On a également montré que la constitution de pathologie vasculaire se faisait très précocément dans la vie (Kannel et Dawber, 1972) et que dès 5 ans il y avait une corrélation positive entre l'adiposité et la pression artérielle systolique dans les 2 sexes (Gutin et al, 1990). La dimension épidémiologique du problème est inquiétante aux Etats Unis: une enquête a montré qu'à Davis , dans une cohorte de garçons de 8 à 12 ans, 13% d'entre eux étaient considérés comme obèses et 46% présentaient au moins 1 facteur de risque de maladie cardio-vasculaire (Wilmore et McNamara, 1974). La situation est aussi mauvaise au Canada (Shephard,1986). L'Europe semble toutefois moins concernée (Kemper, 1985) et une étude locale en Languedoc Roussillon nous a montré que 5% seulement des enfants de 5 à 6 ans étaient en surpoids par rapport à la taille lors de l'admission en cours préparatoire (Baylet et Bénéfice,

1983), mais il y a peu d'études sur le sujet. Outre Atlantique, cette situation a conduit à proposer de nombreux programmes de stimulation de l'activité physique dans les écoles et à surveiller leur efficacité à travers des épreuves d'aptitude (Jockl, 1963; Wilson et al, 1986; La Porte et al, 1982; Shephard, 1986). Il existe actuellement un consensus assez large chez les éducateurs, les entraîneurs et les médecins pour considérer l'amélioration de l'aptitude physique des enfants comme un facteur positif pour la santé, c'est le concept de "health related physical fitness" (Pate et Shephard, 1989).

La situation dans les pays en développement est toute autre. S'il est reconnu que la malnutrition s'y manifeste par un déficit quantitatif de tissus, les conséquences immédiates de ce fait, c'est à dire le risque de décès, ont à juste titre davantage mobilisé l'attention des médecins et des chercheurs que les conséquences éloignées. En Afrique de l'Ouest, les pédiatres considèrent depuis longtemps que la malnutrition protéino-énergétique constitue la toile de fond de la plupart des affections graves auxquelles ils sont confrontés (Statgé et Voyer, 1974). Par contre l'avenir fonctionnel à long terme a fait l'objet de peu de spéculations et encore les conclusions en sont-elles contradictoires: trouvant chez des enfants africains des valeurs abaissés d'indices d'aptitude en valeur absolue mais proche de la normale, voire supérieures relativement à la taille ou au poids, certains auteurs considèrent que l'impact négatif de la malnutrition sur les performances physiques n'est pas prouvé (Areskog, 1971; Walker, 1990). Cette absence de déficit fonctionnel chez les populations de petite taille justifie alors l'idée d'une meilleure capacité de survie quand les apports énergétiques sont bas (Stini, 1972; Ghesquière et D'Hulst, 1988). S'ajoutant à cela, des travaux sur le métabolisme énergétique et protéique (Sukhatme et Margen. 1978; 1982; Margen, 1984) ont conduit à l'hypothèse controversée d'une autorégulation du métabolisme énergétique. En développant à l'extrême ces notions un économiste, Seckler (1980) élaborer la "théorie de la régulation homéostatique de la croissance" qui traduite en termes pratiques avait l'avantage immédiat de ramener le nombre d'enfants malnutris dans le monde de 125 millions à 39 millions puisque

l'on ne considérait plus que les petites tailles soient une conséquence indésirable de la malnutrition mais au contraire l'expression d'une adaptation réussie. La division par un facteur 4 de la prévalence de la dénutrition au lieu de soulager les consciences provoqua au contraire un tollé chez les nutritionnistes (Gopalan, 1984; Martorell, 1985; 1989). Toutefois, comme le fait remarquer Messer (1984) l'acceptation ou le rejet de la théorie "small but healthy" peuvent être utilisées à des fins politiques selon que l'on veut dramatiser ou au contraire minimiser l'importance de la malnutrition. Posé de manière "émotionnelle", ce débat n'est peut être pas très productif au plan scientifique mais, comme l'écrit avec justesse Waterlow (1990), il est difficile d'éviter les jugements de valeur quand la recherche concerne l'homme. Pour cet auteur, on peut distinguer plusieurs significations différentes à l'emploi du terme adaptation: l'adaptation physiologique, c'est à dire l'ajustement à des circonstances extérieures variables grâce à la plasticité phénotypique; l'adaptation culturelle, c'est à dire les formes de subsistance transmises par l'apprentissage et enfin la sélection adaptative darwinienne, (Waterlow, 1985). Bien que ces points de vue différents se recoupent, c'est l'adaptation au sens physiologique du terme qui préoccupe d'abord les nutritionnistes.

La mise en cause de certains dogmes a l'avantage de stimuler la recherche et force est de constater que l'on n'a pas à ce jour une idée claire du devenir fonctionnel des survivants de la malnutrition sévère ni, et encore moins, de celui des très nombreux enfants légèrement dénutris. C'est là une autre grande différence des manifestations de la malnutrition entre les pays développés et les pays en développement: dans le premier cas les effets mortels en sont escomptés à l'âge adulte et justifient la multiplication des études et des essais d'intervention précoces chez l'enfant en vue d'élaborer une stratégie préventive efficace; dans le second cas, l'urgence immédiate à laquelle les intervenants doivent faire face absorbe les moyens et l'énergie qui devraient être investis pour prévoir et prévenir ce qui pourrait survenir par la suite. Mais n'est ce pas précisément à ce point, lorsque l'enfant malnutri grandit et se transforme en producteur malnutri, que la malnutrition cesse d'être un problème individuel

pour devenir réellement un problème communautaire? d'autant que le profil épidémiologique de la malnutrition change, la mortalité précoce qui lui est attribuée diminue et le nombre des survivants augmente: on a pu ainsi constater en Amérique Centrale un recul de la mortalité par dénutrition chez les enfants avec une diminution des formes sévères mais une augmentation de la prévalence des formes chroniques (Teller et al, 1979). Des problèmes de santé publique différents doivent amener à rechercher des solutions différentes. On voit alors l'importance qu'il y a à se préoccuper dès à présent de l'évolution et des conséquences à long terme de la malnutrition.

Le but de cette thèse est de montrer que la malnutrition chez l'enfant est un processus continu dont les conséquences sur le développement de ses capacités motrices et de son aptitude physique sont négatives. De ce point de vue les tests d'aptitude physique, permettant d'exprimer les caractéristiques fonctionnelles de l'enfant, sont un instrument d'évaluation de l'état nutritionnel de l'enfant.

Cette thèse sera constituée de deux parties. La première consistera en un exposé des données actuelles sur les conséquences fonctionnelles de la malnutrition: on analysera les manifestations de la malnutrition, leur persistance et leurs effets sur la croissance; ensuite on décrira les réponses de l'organisme à un apport alimentaire insuffisant; enfin on étudiera les effets induits par ces réponses sur l'aptitude physique de ces enfants. La deuxième partie consistera en un exposé de travaux personnels concernant les points développés dans la première: l'accent y sera mis sur les études épidémiologiques et les tests de terrain.

**1er PARTIE: LES RELATIONS ENTRE LA MALNUTRITION, LA CROISSANCE
ET L'ACTIVITE PHYSIQUE.**

I Malnutrition, Croissance et Anthropométrie.

1) La malnutrition des enfants.

Malnutrition est un terme général qui peut s'appliquer aussi bien aux pathologies d'excès que de carence. Dans ce travail nous nous intéressons exclusivement aux conséquences de la déficience nutritionnelle la plus fréquente qui est la "malnutrition-protéino-énergétique". Cette terminologie classique indique que le déficit porte sur les calories et les protéines (Jelliffe, 1959). Toutefois il convient de préciser que les déficiences alimentaires dans les pays en développement sont généralement complexes et multiples englobant de nombreux autres nutriments (fer, zinc, sélénium, vitamines, acides gras etc), qui sont eux aussi des facteurs limitants de la croissance et du développement des enfants. Pour ces raisons on préfère actuellement parler de malnutrition de l'enfant (Suskind, 1990).

L'utilisation d'indicateurs anthropométriques pour décrire l'état nutritionnel est très ancienne puisqu'un texte du Professeur Trémolières de 1950 nous enseigne que des auteurs tels que Oeder en 1909 ou Paton en 1926 utilisaient déjà le poids et la taille comme indicateurs nutritionnels (Trémolières et al, 1950). L'utilisation de l'anthropométrie pour le diagnostic nutritionnel est fondée sur des études sur modèle animal qui ont démontré la relation existant entre le retard de croissance et les carences alimentaires. Le corps humain maintient un équilibre dynamique à travers des mécanismes adaptatifs physiologiques: après absorption d'un repas il y a stockage de l'énergie sous forme de graisse ou de glycogène qui pourront être utilisées lors des périodes de jeûne ou de demandes énergétique accrues (Viteri et Toran, 1980). Si les ingérés sont réduits de manière importante et brutale l'organisme va devoir puiser dans les réserves. Si la réduction est prolongée l'organisme va réagir progressivement en réduisant ses dimensions corporelles ce qui a pour effet de diminuer la demande en

nutriments. Ce sont là, d'une manière simplifiée, les deux formes cardinales de la malnutrition dont les conséquences les plus évidentes, amaigrissement en cas de malnutrition aiguë et ralentissement de la croissance dans la malnutrition prolongée, vont pouvoir être quantifiées par l'anthropométrie nutritionnelle. Des signes cliniques se manifestent dans les cas sévères et les tableaux classiques de marasme ou de kwashiorkor apparaissent (Jelliffe, 1989) mais ce n'est plus l'objet de notre recherche. En pratique les formes "modérées à légères" qui nous intéressent n'ont pas de manifestations cliniques évidentes, elles ne sont détectables qu'après avoir confronté les valeurs anthropométriques relevées sur le terrain à des valeurs dites de référence issues d'une population bien nourrie.

2) L'anthropométrie nutritionnelle.

2-1) la classification actuelle.

Après au moins 2 décennies de propositions d'indicateurs, de seuils et de normes différentes, il y a eu récemment un consensus récent matérialisé par un document d'un groupe de travail de l'OMS (OMS, 1983). Trois grandes idées émergent de ce document:

a) 2 formes de malnutrition sont à retenir:

- la maigreur (wasting) qui est un déficit quantitatif de tissu et de masse grasse par rapport à ce que l'on observe chez un enfant de même taille bien nourri. Il s'agit d'un processus aigu.
- la chétivité (stunting) qui est un ralentissement de la croissance squelettique. Il s'agit d'un processus cumulatif traduisant une malnutrition chronique.

b) La population du NCHS (National Center for Health Statistic) (Hamill et al, 1979) est choisie comme population de référence pour les comparaisons et également comme standard, c'est à dire comme normalité à atteindre, ce qui implique un jugement de valeur dont le comité accepte la responsabilité. Les discussions à ce sujet sont nombreuses.

c) Pour caractériser l'état nutritionnel des enfants on recommande d'utiliser 2 indices: le "poids pour la taille" (P pour T) qui est un descripteur de la situation en cours conduisant à l'amaigrissement et la "taille-pour-l'âge" (T/âge) qui est un descripteur de la situation passée entraînant la chétivité. Des seuils de malnutrition ont été proposés et on conseille d'exprimer le retard par rapport à la norme en fractions d'écart-type, -2 écart-type étant statistiquement le point d'entrée dans la malnutrition.

L'anthropométrie nutritionnelle comporte aussi d'autres composants, comme l'estimation de

la masse grasse et maigre, qui ont un grand intérêt dans la mesure de l'aptitude physique.

2-2) Dimension du problème.

Dans sa simplicité, l'anthropométrie nutritionnelle est un outil épidémiologique qui permet d'appréhender avec relativement de précision l'importance de la malnutrition.

Une estimation de l'OMS propose les chiffres suivants de malnutrition: pour les enfants de 0-4 ans il y aurait au total dans les pays sous-développés 39 millions (12%) d'enfants amaigris et 125 millions (39%) d'enfants chétifs. L'Asie est le continent le plus touché suivi par l'Afrique avec 7% d'enfants amaigris et 35 % de chétifs. Les Amériques sont relativement épargnées par l'amaigrissement (4%) mais très marquées par les retards de taille (43%) (Keller, 1988). Dans le cas du Sénégal où nous avons principalement travaillé, il n'existe pas d'enquête nationale récente. Une importante étude régionale dans le Centre montre que 3% des enfants sont amaigris de plus de -2 écart-types et 17,6% ont également des retards de taille de -2 écart-types (Garenne et al, 1987).

3) Malnutrition et croissance

La croissance staturale est depuis longtemps considérée comme un indicateur nutritionnel (Trémolières, 1950). Tanner (1976) écrit à ce sujet que la taille des enfants à différents âges est ce qui reflète le plus fidèlement l'état nutritionnel. On constate actuellement un accroissement des tailles ainsi qu'une maturation pubertaire plus précoce par rapport au siècle précédent; c'est ce que l'on appelle la tendance séculaire à l'accroissement (Garn, 1987). On a attribué généralement ce phénomène à une amélioration des conditions d'hygiène et de nutrition ainsi qu'à une limitation puis à une interdiction du travail des enfants (Tanner, 1986). Mais cet accroissement n'est pas universel, il a pu être observé principalement dans les pays développés où l'on possède des séries statistiques anciennes qui montrent un gain à partir de

la fin du XIX^{em} siècle (Floud, 1989; Steckel, 1989). Ce phénomène ne paraît pas prendre place aussi nettement dans le tiers monde où on a même pu décrire le phénomène inverse. Tobias (1976) en étudiant des cadavres de Sud Africains noirs décédés au cours des 50 dernières années a relevé une légère mais significative diminution de la longueur moyenne du fémur durant la période considérée. Inversement les Bushmen, d'ethnie San, montraient clairement une tendance à l'accroissement en taille et à une maturation sexuelle plus précoce au cours des 75 dernières années. Une autre preuve en est donnée par l'archéologie. La culture Maya a atteint son apogée entre l'an 550 et 900; les mensurations de restes de squelettes de gens des basses classes ayant vécu à cette époque montrent que leur taille moyenne diminue d'une génération à la suivante, alors que celle des classes supérieures reste inchangée. Parallèlement on a observé que la nourriture devenait de plus en plus rare et l'auteur de ce travail en conclut que la croissance en taille des classes de travailleurs a été ralentie pour des raisons nutritionnelles (Haviland, 1967). C'est dire que les conditions changeantes de l'environnement sont de puissants déterminants de la croissance et de la maturation.

Le poids de naissance est lui aussi largement le reflet des conditions environnementales et de l'état de nutrition des mères. Les poids de naissance les plus élevés sont observés dans les pays à haut niveau de vie d'Europe, d'Amérique du Nord; les moyennes les plus basses sont retrouvées chez les Mayas et les Pygmés Nagaya (Eveleth, 1979).

Une travail souvent cité comparant les résultats d'études de croissance dans 7 pays en développement à 6 pays développés montre que de 0 à 4 ans les différences de taille et de poids sont plus prononcées entre des groupes à haut et bas niveau socio-économique d'une même série géographique et ethnique (12% pour la taille et 30% pour le poids) qu'entre des groupes à haut revenu mais d'ethnies différentes (3% pour la taille et 6% pour le poids) (Habicht, 1974). C'est ce type d'argument qui a poussé l'OMS à choisir un standart unique pour évaluer l'état nutritionnel des enfants d'âge préscolaire, comme cela a été signalé plus haut.

Si les facteurs nutritionnels doivent être reconnus, il est évident qu'on ne peut ignorer

l'action des gènes. Celle-ci se marque davantage dans la seconde enfance ou à l'âge adulte. L'exemple classique de la croissance des enfants japonais migrants en Californie en est une preuve: en 1956 les enfants élevés en Californie étaient plus grands que les enfants japonais restés sur place (Greulich, 1957). Toutefois la génération suivante d'enfants, mesurée en 1971 n'était guère plus grande (Kondo et Eto, 1972 cité par Eveleth, 1979) et une tendance très forte à l'accroissement s'étant manifesté entre temps au Japon, la différence actuelle de taille entre japonais vivant au Japon et migrants est peu importante et reste inférieure à celle des enfants californiens d'origine européenne: on touche probablement là à la limite de croissance imposée par les gènes (Eveleth, 1979). En supposant que l'on puisse améliorer l'alimentation des populations du tiers monde, il est peu probable que l'on fasse pour autant disparaître les différences de stature. Il est important de reconnaître cette interaction des facteurs environnementaux et génétiques pour interpréter les données des pays en développement où les phénomènes de changement (migrations, urbanisation, industrialisation...) modifiant l'environnement sont extrêmement rapides actuellement.

II Réponses de l'organisme à des apports alimentaires insuffisants.

1) Séquence des réponses possibles.

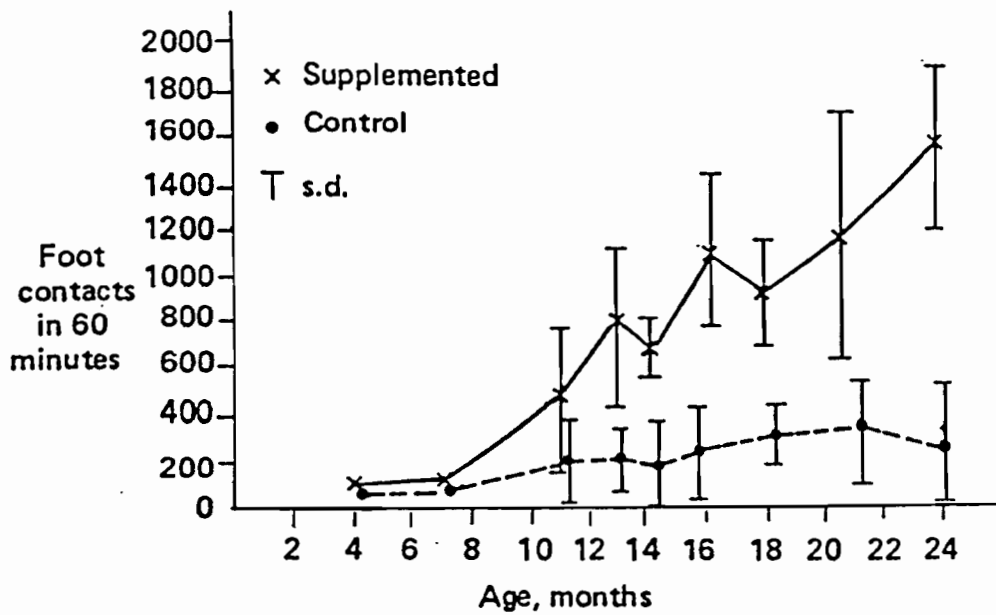
Nous tiendrons pour constant qu'il s'agit là de la cause première des malnutritions, bien que reconnaissant le rôle synergique des infections et des infestations parasitaires dans leur développement (Zumrawi et al. 1987; Taren et al, 1987; Farthing et al, 1986; Brown, 1982). Cependant à long terme, chez les grands enfants et les adultes, c'est la disponibilité alimentaire qui doit être considérée en premier lieu.

Observer expérimentalement les effets d'un apport alimentaire insuffisant sur l'organisme des enfants n'est éthiquement pas possible. Une manière d'opérer est d'observer ce qui se passe lors de la réhabilitation de sujets dénutris et de postuler que celle ci se produit selon une séquence inverse de celle de la dénutrition (Waterlow, 1989). Dans ces conditions la première altération concerne l'activité physique qui devient moins intense; ensuite on observe un arrêt de la prise de poids et une chute progressive de masse grasse; survient alors une perte de masse musculaire puis une diminution modérée de la masse des viscères, enfin le métabolisme des différents organes est réduit. Les modifications de composition corporelle semblent être le fait d'un mécanisme de régulation encore mal connu: il apparaît que la chute de poids et de masse grasse surviennent rapidement mais que la croissance squelettique n'est altérée que tardivement; on peut vérifier lors de la renutrition que le gain de taille ne commence qu'après que le poids se soit normalisé par rapport à la taille (Walker et Golden, 1988).

2) Mécanismes d'épargne énergétique:

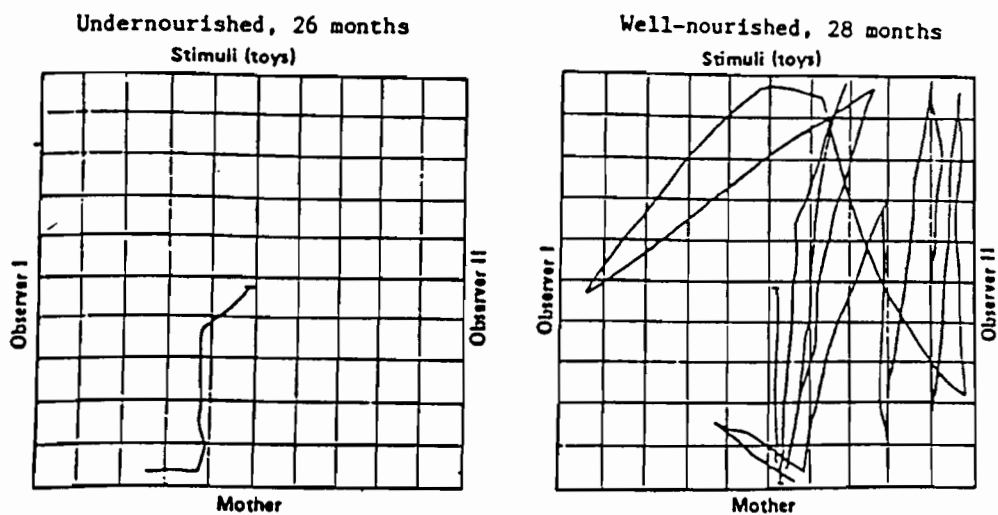
2-1) Diminution de l'activité physique.

Avant qu'un déficit alimentaire n'ait une signification péjorative, différentes possibilités s'offrent à l'organisme pour maintenir un équilibre énergétique acceptable. Une économie importante peut se réaliser par une réduction de l'activité physique. En effet, la part des dépenses énergétiques d'activité devient rapidement importante dès que l'enfant commence à se déplacer. Cette part n'est pas connue avec précision. Une étude réalisée au Canada montre que des garçons de 8 à 11 ans ont une dépense d'activité égale à 31% de la dépense totale et les filles à 26% (Spady, 1980). A partir de l'adolescence ce pourcentage passe en dessous de 20% et cette tendance s'exagère encore chez les adultes sédentaires. Une réduction marquée de l'activité a été observée au Mexique chez des enfants de 1 à 2 ans légèrement dénutris par rapport à des enfants supplémentés (Chavez & Martinez, 1979). La durée de sommeil et de repos allongé était plus importante chez les dénutris; cette même étude a montré une différence dans le comportement de jeu avec des déplacements plus nombreux chez les enfants supplémentés, au contraire les mouvements des malnutris étaient limités. Au Guatemala, des chercheurs ont observé le comportement d'enfants dénutris en cours de réhabilitation et ont constaté que pendant la semaine précédant leur sortie de l'hôpital où leur alimentation était ramenée à un niveau proche de celui habituel dans leur milieu, 70 à 90 Cal.kg-1 et 1,8 à 2 g.kg-1 de protéine chaque jour, le temps passé dans les activités de jeu consommatrices d'énergie diminuait alors que celui de repos augmentait (Viteri & Torun, 1981). Une autre série d'expérience des mêmes auteurs sur un plus long terme a montré qu'une diminution des apports énergétiques de 90 à 82 Cal.kg-1.jour-1, entraînait une diminution de la dépense énergétique sans affecter le gain de poids. Une étude non plus hospitalière mais de terrain confirme ces résultats: les enfants dont l'état nutritionnel se dégradait passaient plus de temps dans les activités sédentaires et ceux dont l'état s'améliorait plus de temps dans les



Incap 89-99

Physical activity of supplemented (x) and non-supplemented (•) children, assessed from contacts of feet with supporting surface or surrounding objects. From CHAVEZ *et al.*, 1972.



Spontaneous displacement within a fenced quadrangle during 10 minutes, of two 2-year-old children with different nutritional conditions. From CHAVEZ and MARTINEZ, 1979.

figure n° 2

activités intenses (Torun, 1990). En Ouganda un travail souvent cité a montré que des enfants africains de 1,5 à 3 ans légèrement dénutris passaient significativement plus de temps couchés ou assis et moins de temps à se déplacer qu'un groupe témoin de petits européens en bonne santé (Rutishauser & Whitehead, 1972). Les conclusions sur le rôle causal de la malnutrition sont évidentes mais il faut cependant signaler que la méthodologie de ces travaux a souvent fait l'objet de critiques tenant au petit nombre de sujets observés et à la pertinence du groupe contrôle. Il faut cependant reconnaître que le relevé des activités physiques et la mesure de la dépense énergétique chez le petit enfant constituent un exercice d'une grande difficulté, expliquant les petits échantillons retenus.

Un groupe de chercheurs Nord Américains et Colombiens s'est particulièrement préoccupé de l'activité des enfants d'âge scolaire et il est intéressant de noter que leurs conclusions ont évolué avec la précision de leurs techniques de mesure. Dans leurs premières expériences utilisant une méthode d'accumulation de fréquences cardiaques et établissant une courbe de regression entre pouls et VO₂ au repos et au cours d'un exercice pour calculer la dépense énergétique quotidienne, ces chercheurs n'ont pas mis en évidence de différence dans la dépense énergétique d'activité en fonction de l'état nutritionnel chez les filles aussi bien que chez les garçons (Spurr et al 1986; Spurr & Reina, 1987). Utilisant ensuite des appareils enregistrant les fréquences cardiaques minute par minute, ils ont montré qu'il n'y avait pas de différence entre enfants bien et mal-nutris durant une journée d'activité normale, mais par contre lorsque les activités sportives étaient fortement encouragées au cours d'une colonie de vacance, les enfants malnutris ne pouvaient qu'élever transitoirement leur niveau d'activité au dessus de leur niveau habituel, contrairement aux enfants bien nutris qui maintenaient une forte activité de manière prolongée (Spurr et al, 1988 b). Ces travaux montrent que la réduction de l'activité physique peut être effectivement chez les enfants un mécanisme précoce d'ajustement aux apports énergétiques.

2-2) Diminution du métabolisme de base.

Une observation ancienne souvent citée (Talbot, 1921) tend à montrer que les enfants malnutris ont par unité de poids un métabolisme de base plus élevé que les enfants normaux. L'explication donnée serait qu'ils auraient plus de tissus métaboliquement actifs par rapport à leur masse totale que les sujets normaux puisque leur masse grasse a fondu. Cependant, si l'on tient compte de la masse active, on constate au contraire une diminution du métabolisme de base. L'étude classique du Minnesota où des volontaires ont jeûné pendant 6 mois jusqu'à stabilisation de leur poids pour un apport réduit de 50% par rapport à leur ingéré habituel, a ainsi révélé une diminution du métabolisme de 15% par kg de masse maigre au bout de 3 semaines (Key et al, 1950). Il existe des difficultés d'interprétation que Waterlow a analysées (Waterlow, 1989). La composition corporelle peut être envisagée sous deux aspects: l'un anatomique, l'autre chimique (figure 1, d'après Friis-Hansen, 1971), qui vont connaître de grandes variations de proportions au cours de la croissance (figure 2) et singulièrement lors des premiers mois de la vie (figure 3). Sur le plan anatomique, en cas de malnutrition certains organes comme le cerveau sont protégés aux dépens d'autres comme les muscles. Il faut noter qu'au repos le pourcentage de métabolisme attribuable au cerveau, qui ne représente que 2% du poids du corps, est de 19% alors qu'il n'est que de 18% pour les muscles qui représentent cependant 30 à 40% de la masse corporelle totale. La contribution des différents organes à la masse totale va varier au cours de la dénutrition, ce qui signifie qu'une augmentation de métabolisme de base par unité de poids correspond au maintien d'un métabolisme normal dans les organes protégés et qu'une baisse ou un métabolisme inchangé implique en fait une baisse du métabolisme de ces organes. Si l'on examine à présent la composition chimique de l'organisme, on constate en utilisant le potassium total comme marqueur de la masse cellulaire, une diminution du métabolisme de base par millimole de potassium (Waterlow, 1989). Ces faits semblent indiquer une réduction du métabolisme spécifique de certains organes vitaux. Il faut noter que la normalisation du métabolisme est très rapide lors de la

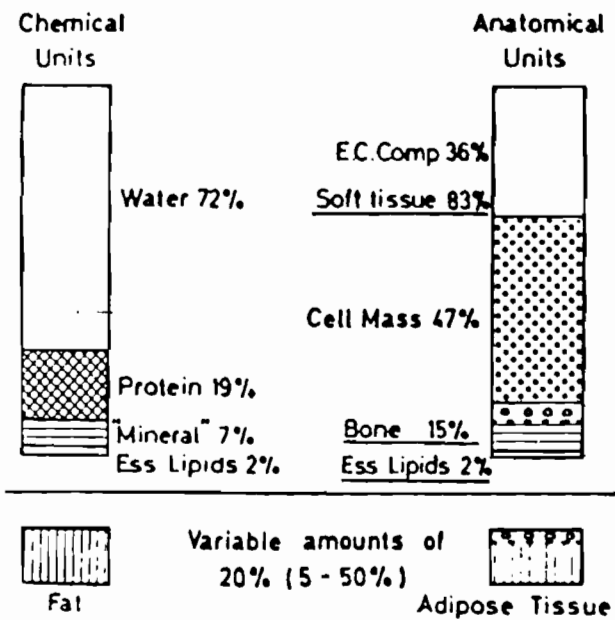


FIG. 1. Lean body mass in chemical and anatomical units.

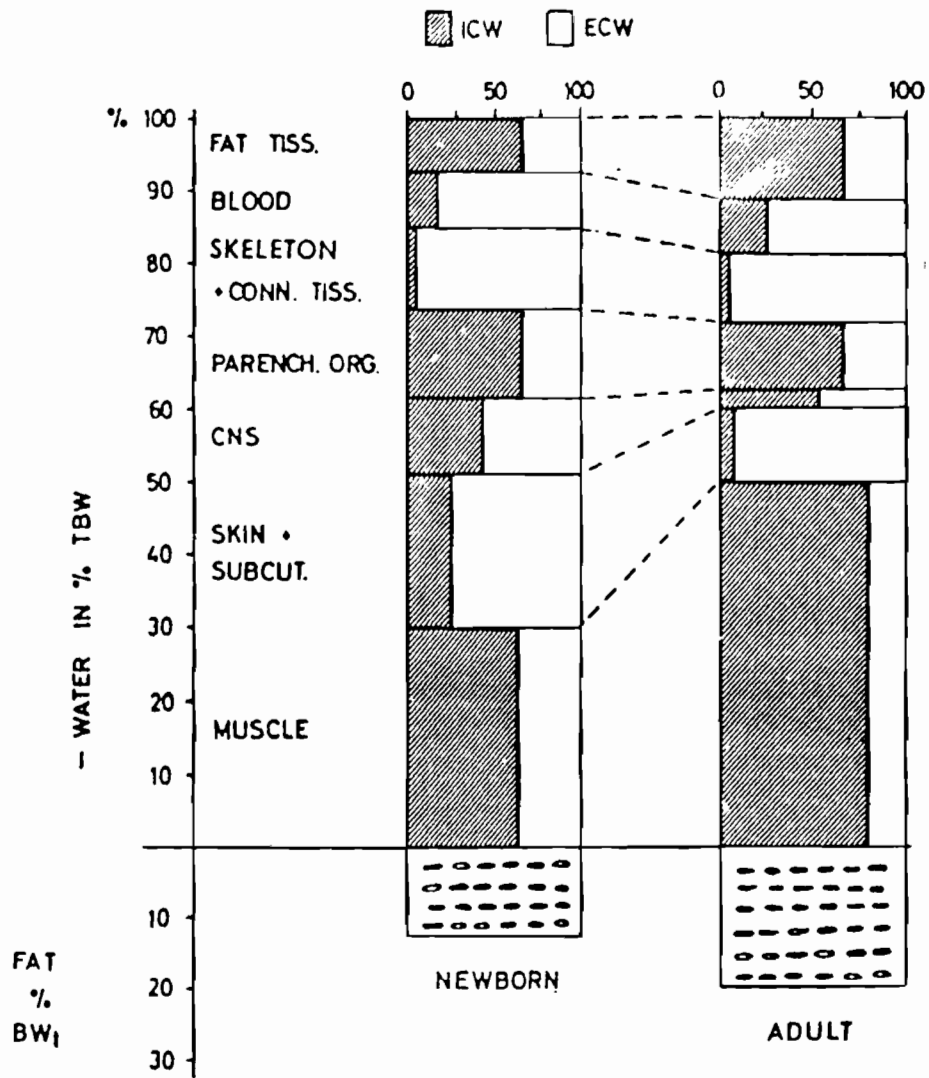


FIG. 2 The proportion of TBW found in different organs in the newborn the adult and the relative size of ICW and ECW in each organ."

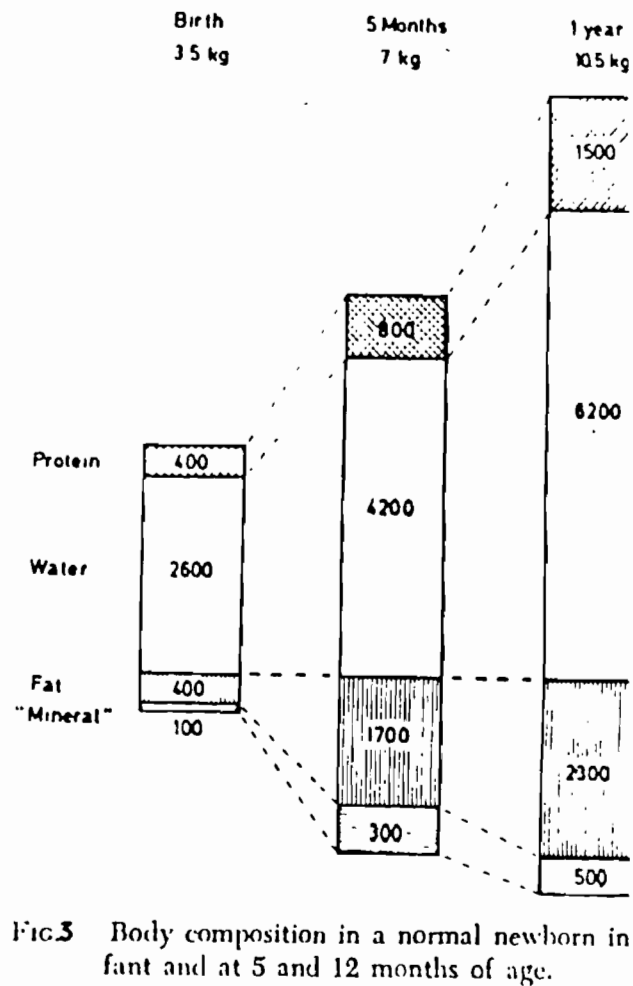


FIG. 3 Body composition in a normal newborn in infant and at 5 and 12 months of age.

réhabilitation nutritionnelle. Soulignons aussi qu'il s'agit d'observations faites lors de malnutritions sévères du petit enfant et que cela ne correspond pas nécessairement au cas de la malnutrition légère à modérée.

2-3) Le coût de la synthèse protéique.

Récemment une voie originale d'ajustement énergétique a été explorée: celle d'un changement dans le métabolisme protéique (Kennedy et al, 1990). On estime que le coût de la synthèse protéique est de 10 à 15 % du métabolisme de base et celui du turnover protéique de 20 à 25%. Or on a observé un turnover protéique moins rapide chez les enfants malnutris que chez les enfants normaux (Golden et al, 1977). L'hypothèse de travail des auteurs était que la baisse du turnover protéique pourrait être un mécanisme d'économie énergétique, sachant que cela n'affecterait pas nécessairement la croissance qui dépend de la synthèse et de la dégradation protéique. Une étude préliminaire sur des enfants de 8 à 28 mois soumis à différents régimes alimentaires pour des raisons médicales, a montré que lors d'un apport correspondant à 70 Cal.kg-1.jour-1, les enfants perdaient plus de poids au début de la semaine d'épreuve qu'à la fin et que la rétention azotée finale était positive avec une réduction marquée de la fréquence des selles. Les auteurs estiment que durant cette épreuve après une chute rapide de poids, une "accommodation" prenait place et que les enfants réalisaient une économie d'énergie de 25 Cal.kg-1.jour-1.

2-4) Changement dans la structure musculaire.

La diminution de la masse musculaire est une conséquence précoce de la malnutrition. Relativement peu d'études ont concerné les modifications qualitatives. Il semble que les fibres à contraction lente (type I) soient davantage préservées que les fibres rapides (type IIa et II b). Les premières fibres consomment moins d'ATP par unité de tension isométrique développée

que les secondes. D'un point de vue énergétique la préservation des fibres lentes serait plus avantageuse que celle des fibres rapides et ce d'autant qu'un certain degré de transformation de fibres rapides en lentes surviendrait (Henriksson,1990). Une telle transformation a été décrite récemment (Russel, 1984); il est possible qu'un fonctionnement sub-optimal de la thyroïde dans la malnutrition en soit la cause. La meilleure capacité d'oxydation des acides gras et d'utilisation des voies aérobies par les fibres lentes est également un avantage car l'activité glycolytique enzymatique, énergétiquement moins rentable, serait déprimée. En pratique cela pourrait induire un comportement différent lors des activités physiques, en effet le recrutement des fibres musculaires lors de la contraction se fait progressivement: les exercices de faible intensité utilisent surtout les fibres lentes; un exercice modéré recrute en plus les fibres rapides (les IIa avant les IIb) enfin un exercice correspondant à 80% de la VO₂max utilisera tous les types de fibres (Henriksson, 1990).

Au plan fonctionnel les études qui ont été faites montrent une plus grande fatigabilité du muscle malnutri, un temps de relaxation lent et une modification des paramètres de contraction (Lopes et al, 1982; Jeejeebhoy, 1986). Pour ces auteurs, ces effets adverses se corrigeraient rapidement avec la renutrition des patients. D'autres (Shizgal et al, 1986) contestent ces conclusions arguant du fait qu'ils n'y a pas de corrélation entre la composition corporelle et la fonction musculaire.

3) Mise en jeu de ces mécanismes en cas de déficit chronique.

3-1) Part de ces différents mécanismes d'épargne dans la réalisation de l'équilibre énergétique.

Chez l'adulte, qui représente en quelque sorte le produit fini d'une longue histoire nutritionnelle, Ferro-Luzzi (1988) a calculé l'économie d'énergie qui pouvait être réalisée selon diverses modalités. La diminution des dimensions corporelles et du poids permettent d'obtenir un gain lors des mouvements de translation. Un adulte de 165 cm, taille commune

dans les pays en développement, aura un métabolisme de base de 1597 Cal/jour soit 153 Cal de moins qu'un sujet de 173 cm; si ce sujet disposait de 1595 Cal/jour pour ses activités, par unité de poids il dépenserait 48,1 Cal et économiserait 368 Cal par rapport à l'homme de 173 cm. S'il existait réellement une adaptation métabolique permettant une plus grande efficacité métabolique, point qui sera examiné plus loin, une réduction du métabolisme de base qui peut être au maximum de 16%, associée à une diminution de taille de 14% permettrait une économie d'énergie de 23%. Cet auteur passant en revue des enquêtes de dépense énergétique effectuées sur le terrain dans divers pays en développements montre que l'on ne peut conclure à une substantielle baisse d'activité chez les adultes par comparaison à leurs homologues occidentaux. En pratique, chez les adultes la réduction de dépense énergétique liée aux activités n'est pas démontrée et la diminution de taille est le mécanisme de plus efficace de réduction énergétique. Mais s'agit-il d'une adaptation? quel en est le coût ? la seule survie ne peut être considérée comme un critère valable si cela n'implique pas un niveau fonctionnel acceptable (Waterlow, 1986).

3-2) Les carences saisonnières d'apports alimentaires.

L'économie des pays en développement et partant leurs conditions alimentaires dépend largement de l'agriculture et est soumise aux aléas du climat et du milieu physique. Les pays sahéliens et soudaniens à une seule saison des pluies où nous avons travaillé connaissent une plus ou moins grande pénurie vivrière dans les semaines précédant la récolte; il s'agit de la période de "soudure" survenant généralement en fin de saison sèche et début des pluies. Cette insuffisance cyclique dans les apports alimentaires provoque chez les communautés qui souffrent des réponses biologiques et comportementales rapides. La perte de poids en est la conséquence la plus évidente. Lors d'une enquête chez des pasteurs nomades de l'extrême Nord nous avons observé une différence de plus de 600 Cal per capita entre la saison des pluies (août) et la saison fraîche (janvier), à cette différence extrêmement marquée

correspondait une diminution modérée de poids chez les adultes de 2,1 à 2,7 kg (Bénéfice et al, 1984). Une revue de différentes études ayant abordé ce sujet confirme ce résultat: les pertes de poids sont d'autant plus marquées que la sécheresse est plus prononcée, mais la perte de poids dépasse rarement 5% du poids total (Ferro-Luzzi, 1987).

Les fluctuations saisonnières éventuelles du métabolisme de base sont très mal connues. Peu d'études ont été conduites concernant ce sujet. En cas d'amaigrissement léger il n'y aurait pas de modification comme l'indique une étude récente réalisée au Bénin (Schultink et al, 1990). Mais d'autres facteurs pourraient intervenir, tels la température extérieure dont une étude japonaise a montré qu'elle est liée aux variations du métabolisme de base (Suzuky, 1959; cité par Ferro-Luzzi, 1989).

L'obligation d'entreprendre de gros travaux agricoles en période de pénurie ne permet pas à certaines populations de diminuer leur activité physique pour ajuster leurs besoins à leurs apports. C'est même exactement l'inverse qui se produit en Afrique sahélienne ainsi que Brun et collaborateurs l'ont décrit au Burkina Faso (Brun et al, 1981; Bleiberg et al, 1981). Pour Ferro-Luzzi (1987), un déficit journalier de 300 Cal/jour durant 3 mois conduirait à un manque global de 27000 Cal pour les 3 mois que durent la période de gros travaux; il serait parfaitement compatible avec amaigrissement moyen de 2 à 4 kg sans faire intervenir d'autres mécanismes d'épargne. Toutefois l'amaigrissement n'a pas une signification univoque, comparant la situation de 2 communautés africaines l'une d'éleveurs nomades au Sénégal, l'autre d'agriculteurs sédentaires au Mali, nous avons observé une différence de comportement entre les 2 groupes: les éleveurs avaient la possibilité de limiter leurs activités physiques alors que les agriculteurs devaient au contraire l'augmenter. Cette différence avait une traduction physique, les deux groupes maigrissaient dans les mêmes proportions mais la fonte musculaire au niveau des bras était plus importante chez les agriculteurs que chez les éleveurs où l'ajustement se faisait surtout aux dépens de la masse grasse (Bénéfice et Chevassus, 1985). Les conséquences et le coût physiologique de l'amaigrissement ne sont certainement pas les mêmes selon qu'il porte sur la masse grasse ou la masse maigre.

4) Y-a-t-il adaptation physiologique aux apports alimentaires insuffisants?

4-1) La théorie de "l'adaptation homéostatique" des besoins énergétiques.

Des études de terrain ont montré une discordance entre les apports alimentaires et les besoins mesurés sans que cela se traduise nécessairement par une perte de poids ou une diminution d'activité (Norgan, 1974; Edmunston, 1977; Bleiberg, 1981). Elles ont amené certains auteurs à postuler l'existence de mécanisme physiologique permettant une plus grande efficacité dans l'utilisation énergétique (Mulligan et al, 1990; Dulloo et Girardier, 1989). Dans le même esprit Sukhatme et Margen (1981) ont proposé leur théorie d'autorégulation de l'équilibre énergétique. Fondée essentiellement sur une analyse statistique des travaux de Edholm (1970) et d'Acheson (1980) sur le bilan énergétique à long terme de jeunes volontaires, cette théorie propose que l'équilibre énergétique se réalise par une régulation de la dépense énergétique impliquant des changements dans l'efficacité métabolique. En pratique elle nie le concept classique de besoins énergétiques fixes et affirme qu'au sein de limites, variables selon les individus, l'équilibre énergétique se réalise sans dommage physiologique; la malnutrition n'apparaissant que quand on s'éloigne de ces limites. James (1987) a critiqué cette théorie en montrant que s'il y avait une grande variabilité des apports malgré une certaine régulation de l'appétit, la dépense énergétique restait relativement stable d'une population à l'autre et qu'il n'y avait pas de preuve à ce jour de meilleure efficacité métabolique chez les groupes dont les apports étaient chroniquement bas. L'explication du déséquilibre dans le bilan énergétique étant plus à rechercher du côté de la forte variance intra-individuelle de consommation alimentaire ainsi que des difficultés techniques de sa mesure et des différences de morphologie entre populations. Il s'agit d'un débat encore non tranché actuellement. Des protocoles seraient en cours sous l'égide du Consortium for Research on Energy Adaptation in man (CREAM) utilisant des techniques lourdes telles que eau doublement marquée et calorimétrie directe pour valider ou réfuter

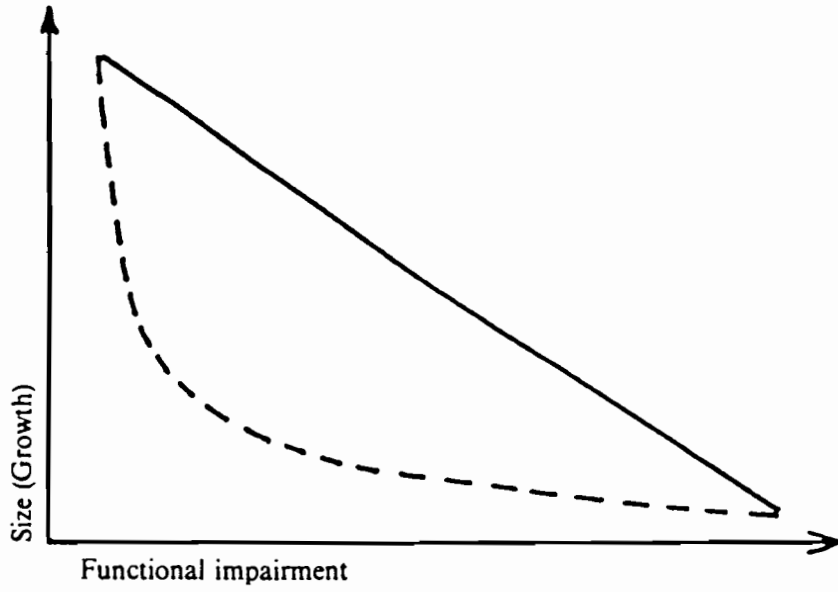
cette théorie.

En tout état de cause le fait de ne pas considérer l'être humain comme étant dans une situation fixe et constante représente une contribution importante pour la nutrition. Pour Waterlow, l'erreur vient de la confusion entre un concept statistique, autocorrélation des dépenses énergétiques et un concept physiologique, autorégulation des besoins (Waterlow, 1986).

Comme il été dit en introduction, les implications pratiques d'une telle théorie sont importantes car elle divise par quatre le nombre de sujets malnutris. Sukhatme et Margen considèrent qu'elle permet au contraire de rendre plus crédible et plus efficace les programmes d'intervention en dirigeant l'aide alimentaire vers ceux qui en ont réellement besoin au lieu de la diluer dans la masse et que les pays sous-développés ont les ressources suffisantes pour lutter contre la malnutrition. Ces appels pour une meilleure distribution des ressources alimentaires sont pertinents mais ne constituent pas un argument en faveur de la justesse de cette théorie.

4-2) Relations malnutrition et aptitude: adaptation "homeostasique" ou adaptation "optimale"?

Selon Margen (1984), il existe une zone d'adaptation à des apports insuffisants. Elargissant ce point de vue à l'ensemble des fonctions physiologiques de l'organisme, il propose le concept d'adaptation homéostasique par opposition au concept conventionnel des nutritionnistes d'adaptation optimale. Ainsi entre certaines limites, l'organisme pourrait survivre et s'adapter dans un environnement sans cesse changeant. L'autre théorie impliquant, selon l'auteur, que l'organisme ayant un potentiel génétique optimal, une réponse fonctionnelle optimale ne pourrait être obtenue que dans des conditions environnementales et nutritionnelles également optimales. En prenant la croissance comme indicateur de malnutrition Margen montre que la relation structure et fonction devient curvilinéaire avec



—— «Conventional genetic theory»
----- «Homeostatic genetic theory»

Relationships between size and degree of functional impairment as described by two theories of «genetics».

figure n° 3

une aire d'adaptation et des seuils alors que dans la théorie classique la relation est linéaire et qu'il y a désadaptation dès que l'on s'éloigne de la norme.

En dépit de son aspect séduisant, on verra que cette théorie n'est pas plus vérifiée dans le cas de l'aptitude physique que ce qu'elle ne l'est en ce qui concerne la régulation des besoins énergétiques et protéiques. C'est l'objet du chapitre suivant.

III Malnutrition et aptitude physique.

1) Aptitude physique de l'enfant normal.

1-1) Définition de l'aptitude physique.

Plusieurs définitions ont pu être données au concept d'aptitude physique selon le centre d'intérêt de l'auteur: performances sportives pour certains, capacité à réaliser les tâches journalières pour d'autres, réalisation d'un travail musculaire de manière satisfaisante pour l'OMS (Lange Andersen et al, 1971). La définition du "President's Council on Physical Fitness and Sports" citée par Shephard (1986) est plus complète: il s'agit de "la capacité à accomplir les tâches quotidiennes avec vigueur et entrain, sans fatigue anormale et avec une énergie suffisante pour jouir de loisirs et faire face à des urgences imprévues". Il existe donc de nombreux domaines d'aptitude et pour les explorer tous il faudrait en pratique multiplier les tests: endurance, force, vitesse, souplesse, agilité etc. L'interprétation des résultats risquerait d'être décourageante du fait de la grande variabilité interhumaine et une tendance centrale pourrait être difficile à dégager. En fait beaucoup de domaines différents d'aptitude sont intercorrélés et pour éviter les redondances on a intérêt à limiter les tests.

Le concept d'aptitude s'est récemment recentré autour de la notion de santé, c'est à dire les aspects de l'aptitude en relation avec le fonctionnement journalier et le maintien de la santé : "health-related physical fitness". Dans le but de rendre cette définition opérationnelle pour l'évaluation de l'aptitude sur le terrain on a défini des dimensions ou composants de l'aptitude qui représentent une caractéristique physique unique ou une habileté en relation avec une capacité pour un mouvement. Plusieurs dimensions peuvent être explorées mais actuellement un consensus semble se dégager pour se limiter aux composants suivants (Pate et Shephard,

1989).

- Endurance cardio-respiratoire.
- Composition corporelle.
- Force musculaire.
- Flexibilité.

L'application a été prévue pour les enfants des pays développés. De manière générale, l'exploration de ces composants permet de porter un diagnostic et un pronostic sur la facilité avec laquelle l'enfant sera apte à remplir les tâches quotidiennes qui lui incombent. Dans des zones rurales sous-développées et non mécanisées du tiers monde, la capacité de travail peut être considérée comme un facteur limitant pour la subsistance des populations: cela justifie l'intérêt que l'on doit porter au développement de l'aptitude chez les enfants.

1-2) Influence du milieu.

Les adaptations cardio-vasculaires à l'effort sont un des composants essentiels de l'aptitude physique et ont fait l'objet de nombreuses études. Dans les pays en développement de nombreuses contraintes de l'environnement physique peuvent modifier ces adaptations. L'altitude est un exemple qui a suscité de nombreuses recherches. Les populations natives en haute altitude présentent des caractéristiques de croissance très particulières de certains segments corporels avec un accroissement des volumes thoraciques et pulmonaires et une diminution de taille; leur capacité de diffusion pulmonaire est augmentée et elles ont une moindre sensibilité de la réponse ventilatoire à l'hypoxie (Frisancho, 1990). Ces adaptations permettent le maintien d'une capacité de travail élevée en haute altitude pour les populations andines ou himalayennes.

Une autre contrainte est celle de l'hyperthermie qui affecte des millions d'habitants vivant dans les régions tropicales du monde. Ce sont précisément les régions où la prévalence de la malnutrition est la plus forte. aussi allons-nous examiner plus en détail les effets physiologiques de l'excès de chaleur.

Dans un compte rendu des travaux du programme biologique international concernant l'aptitude physique et l'adaptabilité humaine, Shephard (1988) a fait la synthèse de ceux qui ont concerné l'exercice en condition d'hyperthermie. Il existe un risque de déshydratation en cas d'exercice prolongé avec une chute du volume sanguin central et donc du transport d'oxygène. Il est possible que la relation fréquence cardiaque/ VO_2 ne soit plus linéaire du fait de l'existence d'une tachycardie liée à la chaleur qui exagèrerait la réponse cardiaque à l'effort. Au dessus de 25°C , température souvent dépassée en Afrique sahélo-soudanienne, le seuil anaérobie serait abaissé et une chute de la pression systolique diminuerait la perfusion des muscles actifs et du flux sanguin dans les viscères comme le foie ce qui affecterait la mise en jeu des systèmes tampons. La chaleur pourrait être bénéfique dans un premier temps en

augmentant la viscosité musculaire mais ensuite les réactions de phosphorylation seraient moins efficaces et le rendement mécanique serait mauvais à cause de la fatigue et du coût énergétique supplémentaire lié à l'augmentation de fréquence cardiaque, à la transpiration et à la ventilation.

Il faut en fait distinguer les exercices effectués en milieu hyperthermique par des sujets acclimatés de ceux de sujets non acclimatés. A court terme, la sudation est le seul mécanisme disponible pour éliminer la chaleur et maintenir l'homéothermie, c'est donc par une transpiration profuse accompagnée d'une élévation de la température centrale que va réagir d'abord un sujet non acclimaté. S'il est ensuite exposé de manière répétée à la chaleur, l'élévation de température centrale devient moindre du fait d'une sudation plus précoce et plus abondante avec une concentration moins élevée de sodium dans la sueur. A long terme, les caractéristiques des sujets se transforment pour permettre une dissipation plus rapide de la chaleur.

Hori (1987) a réalisé une étude comparative entre des sujets acclimatés à la chaleur vivant dans l'île japonaise d'Okinawa au climat sub-tropical humide et des migrants. Il a observé qu'il n'y avait pas de différence de température rectale entre les 2 groupes mais que la température cutanée était plus élevée chez les premiers et que lors de l'exposition à la chaleur la température rectale et les fréquences cardiaques de repos étaient plus faibles chez les natifs d'Okinawa. La valeur des plis cutanés, poids et taille étaient également plus bas chez les sujets acclimatés: la dissipation de la chaleur étant proportionnelle à la surface corporelle et la production de chaleur lors des déplacements étant elle proportionnelle au poids, le rapport surface corporelle/masse corporelle plus élevé chez les sujets nés à Okinawa était favorable à l'élimination de la chaleur. La graisse sous-cutanée du fait de sa basse conductance thermique est un obstacle à la dissipation de la chaleur, sa faible épaisseur était donc un autre avantage des habitants d'Okinawa par rapport aux migrants. La transpiration excessive est dangereuse à cause de pertes d'eau et de sodium; celles ci étaient moindre chez les sujets acclimatés et la concentration de sodium dans la sueur était plus faible. Or une forte concentration en sodium

abaisse le gradient de pression de vapeur d'eau entre la peau et l'air ambiant, comme le taux d'évaporation de la surface de la peau est dépendant de son humidité et de ce gradient, l'efficacité de la transpiration était donc meilleure chez les sujets acclimatés. L'entraînement physique intense permettrait d'obtenir rapidement ce type d'adaptations (Hori, 1987). Ces divers mécanismes montrent qu'à long terme l'acclimatation à l'hyperthermie se font dans le sens d'une moindre contrainte sur le métabolisme de l'eau, alors qu'au contraire, à court terme la régulation thermique se fait aux dépens du métabolisme hydrique.

Au cours d'un exercice le système cardio-vasculaire doit transporter l'oxygène vers les tissus et la chaleur des tissus vers la périphérie. Alors que la capacité pour le coeur de pomper le sang est limitée, celle de la circulation périphérique d'augmenter la conductance thermique par vasodilatation est très importante. Dans ces conditions une régulation très précise doit intervenir pour maintenir la vasodilatation dans des limites compatibles avec les possibilités cardiaques sinon une hypotension sévère peut survenir. Les mécanismes régulateurs de cette tension seraient prioritaires par rapport à ceux concernant la température ou le métabolisme (Rowell, 1987).

Des comparaisons interethniques en Israël ont montré que le type de transpiration peut varier: les Ashkenazes, juifs originaires d'Europe, exposés à la chaleur avaient une transpiration profuse formée de larges gouttes coalescentes glissant le long du corps alors que les juifs originaires d'Inde transpiraient moins et sous forme de minuscules gouttelettes qui dessinaient un film très fin à la surface de la peau. Si l'activité des glandes sudoripares variait, par contre leur densité ne suivait pas un schéma bien défini (Samueloff, 1987). Les Africains auraient un type de sudation similaire avec une quantité de transpiration plus faible durant l'exercice, une température centrale plus faible et une température cutanée plus élevée mais sans modification de la densité et de la répartition des glandes sudoripares (Thomson, 1954). Ces observations vont également dans le sens d'une plus grande efficacité de la thermolyse et d'une moindre sollicitation de l'appareil circulatoire au cours de l'exercice des populations acclimatées.

1-3) Différences ethniques dans la capacité à supporter une charge.

Une étude comparative de la capacité de travail physique entre des adultes anglais, des juifs d'origine Yemenites et Kurdes et des africains Yorubas a été faite par une collaboration entre plusieurs laboratoires (Davies et al, 1972). La $\dot{V}O_2$ max la plus faible était relevée chez les sujets d'origine caucasienne mais en fait les différences disparaissaient après ajustement sur le poids et la masse maigre. Les auteurs concluent que les différences interindividuelles étaient plus grandes que les différences interethniques et que la signification biologique de ces dernières est incertaine. Les différences ethniques pouvaient être dues en fait aux conditions de vie et à l'activité physique plutôt qu'à d'éventuels facteurs génétiques. Le tableau comparatif ci-joint (tableau I) illustre ce fait.

**Tableau I. Comparaison de valeurs de capacité aérobie maximum
de sujets masculins jeunes pour divers groupes ethniques
(moyenne, 1 écart-type ou rang).**

Groupe ethnique	$\dot{V}O_2$ max (ml. kg ⁻¹ . min ⁻¹)	Reference
Occidentaux		
Anglais inactifs	41,0 (6,8)	Davies et al (1972)
Suédois actifs	50,4 à 66,8	Astrand (1960)
Belges actifs	50,3 (7,1)	Poortmans et al (1986)
Populations "traditionnelles" et paysans africains		
Indiens Artiques	49,6 (8,0)	Lange-Andersen (1960)
Inuits	52,7 (6,4)	Rode et al (1984)
Kivu Twa (pigmés)	42,5 (5,2)	Ghesquière et al (1981)
Cameroun:		
Montagnards Koma	53,2 (5,3)	Pasquet (1988)
Montagnards Fali	55,4 (9,1)	Huizinga (1988)
Mali		
Pêcheurs Bozo (jeunes)	43,5 (6,5)	Huizinga (1988)
Burkina Faso		
Nankana	40,5 (7,8)	Huizinga (1988)
Mossi	52,6 (7,1)	Huizinga (1988)
Ethiopie		
Montagnards Amhara	39,9 -	Lange-Andersen (1971)
Soudan		
Coupeurs de canne	49,3 (8,7)	Collins (1982)
Villageois	46,9 (12,0)	Collins (1982)
Kenya		
Turkana	48,0 -	Di Prampero et al (1969)
Kikuyu	46,0 -	Di Prampero et al (1969)
Afrique du Sud		
Bushmen	47,9 (7,0)	Whyndham et al (1963)
Bantous	40,0 à 48,0	Whyndham et al (1966)
Nigeria		
Yorubas (actifs)	55,5 (6,5)	Davies et al (1972)
Yorubas (inactifs)	45,9 (7,2)	Davies et al (1972)

VO2 max de Divers Groupes Ethniques

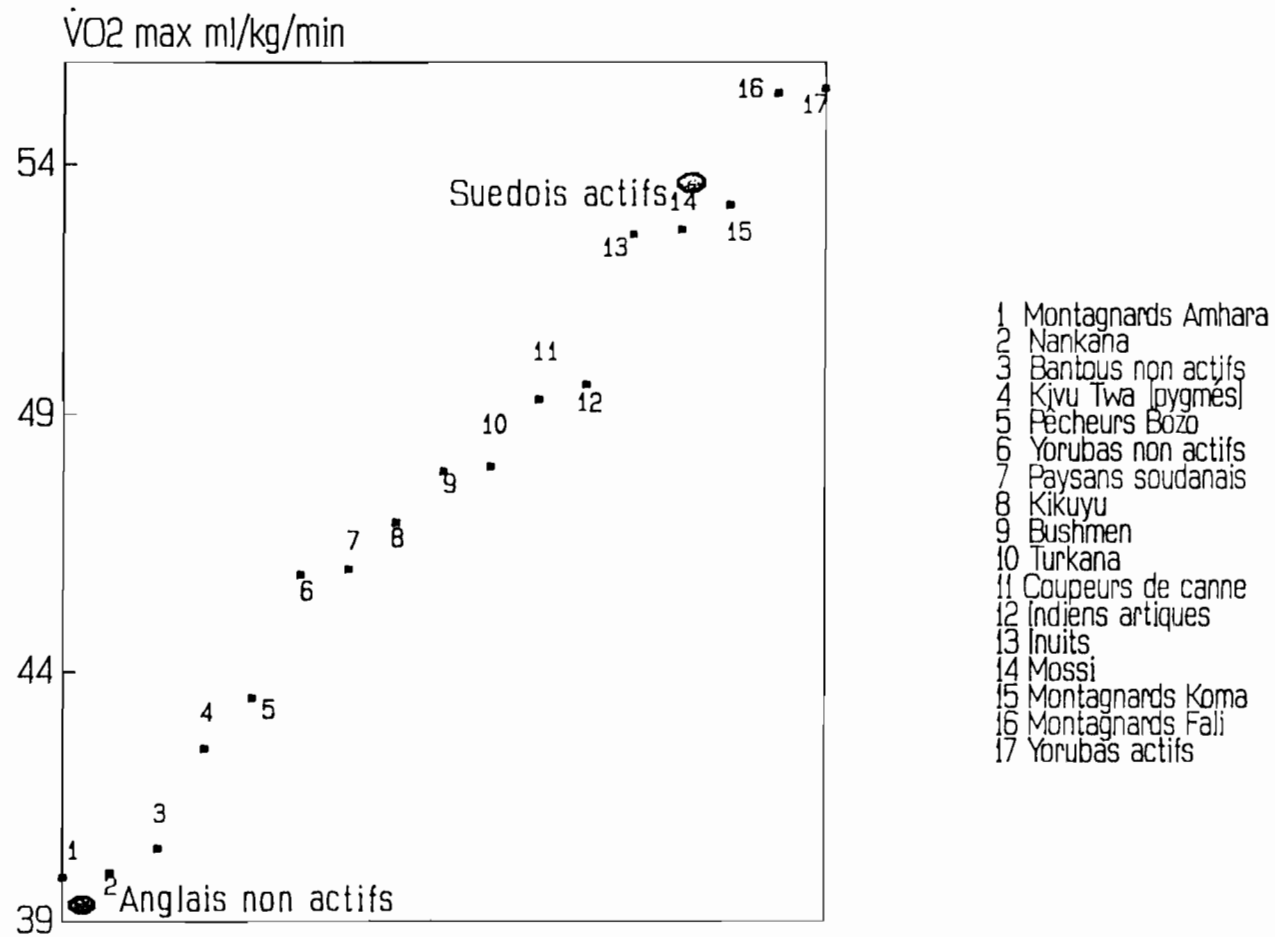


Figure n° 4

Les Yorubas actifs ont une $\dot{V}O_2$ max (ml/kg) du même ordre que les sujets caucasiens étudiés par Astrand et les inactifs diffèrent très peu des européens sédentaires. Une forte capacité de travail est souvent postulée chez les populations "traditionnelles" parce qu'elles doivent maintenir un haut niveau d'activité pour survivre. On constate d'après ce tableau que ces groupes n'ont pas une $\dot{V}O_2$ max très supérieure à celle des autres populations. Comme le fait remarquer Davies, si ces populations de chasseurs-cueilleurs ont une vie rude cela ne signifie pas qu'elles soient continuellement actives, en réalité de longues phases de repos entrecoupent les pics d'activité.

Une des difficultés pour effectuer des comparaisons de capacité de travail inter-ethniques en Afrique tient à la diversité des protocoles d'épreuve d'effort utilisés. La consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$) est considérée comme le meilleur indicateur d'aptitude physique (Astrand, 1960); beaucoup d'études faites en Afrique ont utilisé des tests sous-maximaux pour prédire la $\dot{V}O_2$ max. C'est ce qui ressort de l'analyse des études répertoriées dans le tableau I. Seuls les sujets nigériens ont fait l'objet d'une mesure directe; il est donc possible que certaines valeurs soient surestimées si les conditions d'utilisation du nomogramme d'Astrand et Ryhming (1954) n'ont pas été strictement respectées. Malgré ces réserves, on note généralement des valeurs moyennes de $\dot{V}O_2$ max élevées quand les populations sont actives et jouissent d'un bon état nutritionnel: c'est le cas des montagnards Koma et Fali ainsi que des paysans Yorubas; mais quand les conditions de subsistance et d'alimentation se dégradent, comme le cas des paysans éthiopiens ou burkinabés par exemple, la $\dot{V}O_2$ max est très abaissée. Récemment, un chercheur ayant réalisé des mesures directes de $\dot{V}O_2$ max chez des éleveurs nomades Ngisonyoka Turkana d'Afrique de l'Est réputés être très endurants, rapportait des valeurs moyennes de l'ordre de 38 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Curran-Everett, 1991).

En conclusion, ces diverses études témoignent d'une grande variabilité d'aptitude physique entre populations africaines et suggèrent, en dépit de leur imprécision, que même si les groupes indemnes de malnutrition ont une capacité de travail peu différente de celle des

populations caucasiennes, la $\dot{V}O_2$ max des sujets marginalement dénutris est faible.

1-4) Le développement de l'aptitude physique chez l'enfant normal.

1-4-1) Aptitude et dimensions corporelles.

La forte croissance des dimensions corporelles qui caractérise l'enfance va se répercuter sur le développement de l'aptitude physique. On constate en effet une augmentation pratiquement linéaire de la $\dot{V}O_2$ max avec l'âge jusque vers 12 ans, ensuite l'augmentation est moins forte et la progression s'arrête vers 14 ans pour les filles, 18 ans pour les garçons. Si l'on tient compte du fait que dans les mouvements de translation du corps l'enfant plus léger qu'un adulte dépensera donc moins d'énergie, il faut exprimer la puissance maximale aérobie relativement à la masse ou aux dimensions corporelles. Dans ces conditions les changements avec l'âge sont très peu marqués chez les garçons et on observe même une diminution de la puissance aérobie avec l'âge chez les filles (Bar Or, 1987). Il existe des relations dynamiques théoriques entre les dimensions du corps et les performances fonctionnelles; toutefois, lorsque l'on applique ces relations à l'enfant, on peut constater que la $\dot{V}O_2$ max prédite est moins élevée que ne le voudraient ses dimensions et l'examen des performances fait conclure qu'il n'est pas mature au point de vue mécanique (Astrand et Rodahl, 1978). La puissance anaérobie des enfants, en valeur absolue comme relative, est toujours basse mais contrairement à la $\dot{V}O_2$ max exprimée en kg de poids, elle progresse régulièrement jusqu'au delà de 30 ans (Inbar et Bar Or, 1986; Mercier et al, 1991). Les différences de puissance aérobie s'expliquent par les différences de masse musculaire disponible pour l'exercice entre enfants et adultes par contre les différences anaérobies supposent une inaptitude qualitative des muscles. On peut avoir la preuve d'une moindre activité glycolytique anaérobie des enfants en dosant l'apparition des lactates dans le sang ou les muscles: à la fin d'un effort maximum les taux sont plus bas chez l'enfant que chez le sujet plus âgé (Eriksson et al, 1974;

Eriksson, 1980; Wirth et al, 1978). Le mécanisme sous jacent n'est pas encore éclairci, cela pourrait être dû à une moindre activité d'enzymes clés de la glycolyse en particulier de la phosphorylase, de la pyruvate deshydrogénase et de la phosphofructokinase (Inbar et Bar Or, 1986). Ce point est à retenir car, comme nous le verrons plus loin, les enfants dénutris ont une faible capacité anaérobie ce qui pourrait laisser supposer une atteinte non seulement quantitative du muscle comme on le rapporte classiquement mais également qualitative.

1-4-2) Aptitude et activité physique.

Une question importante en matière de physiologie de l'effort et également pour la santé publique est celle de savoir si l'activité physique, en particulier l'entraînement sportif, a un effet sur l'aptitude physique de l'enfant. Le point de vue classique est que ce sont les facteurs héréditaires qui sont le principal déterminant du développement de l'aptitude physique (Klissouras et al, 1973; Astrand et Rodahl, 1978). Pour d'autres auteurs, au contraire, l'exercice physique serait le facteur essentiel de la capacité aérobie de l'enfant (Shephard, 1971). Taylor et Baranowski (1991) ont montré que l'activité physique était un prédicteur significatif de l'adaptation cardio-vasculaire à l'effort chez les enfants à forte adiposité mais non chez ceux à faible adiposité et concluent que la masse grasse devrait être prise en considération dans l'évaluation des effets de l'exercice. Il existe également une interaction entre l'hérédité, l'activité et l'aptitude physique: une étude épidémiologique réalisée au Canada et portant sur un échantillon représentatif de la ville de Québec de 1610 sujets issus de 375 familles a montré qu'il existait une influence héréditaire significative sur l'activité physique expliquant 29% de la variance de la participation à un exercice (Pérusse et al, 1989). Un comportement orienté vers les pratiques sportives serait influencé par l'environnement familial et culturel des enfants.

La période de la vie où l'entraînement se produit est importante pour l'amélioration de la capacité aérobie. Une étude longitudinale faite durant 6 ans sur 50 écoliers japonais a ainsi

observé que l'augmentation la plus importante de puissance aérobie était obtenue si l'entraînement se situait durant le pic de croissance en taille (Kobayashi et al, 1978). La réponse à l'entraînement du jeune sportif d'âge prépubertaire a fait l'objet de plusieurs travaux au laboratoire de physiologie de l'effort de Montpellier. Mercier et coll (1987) ont montré que la quantité d'entraînement devait être prise en compte: la $\dot{V}O_2$ max par kg de poids est plus élevée chez des nageurs de 13 ans effectuant 14 heures d'entraînement par semaine que chez ceux en effectuant 7 heures, les 2 groupes ayant les mêmes caractéristiques physiques. Une autre étude a établi qu'il existait une corrélation élevée entre le seuil ventilatoire et le temps d'endurance chez des jeunes nageurs (Vago et al, 1987). Il y avait également une corrélation positive entre la quantité d'entraînement et la $\dot{V}O_2$ max et la $\dot{V}O_2$ au seuil. Le seuil anaérobie paraît répondre plus précocément que la $\dot{V}O_2$ max à l'entraînement (Guérin, 1987). Ces séries d'observations démontrent l'intérêt de la mesure du seuil ventilatoire dans le suivi du jeune sportif et suggèrent que les effets de l'entraînement pourraient s'exercer par une plus grande efficacité de la filiaire glycolytique. Sur le même échantillon de nageurs, on a pu noter que la pratique de la natation, si elle ne modifiait pas substantiellement la croissance et la morphologie des enfants avant la puberté, induisait une modification de la composition corporelle; celle-ci se traduisait par une augmentation de la masse musculaire active des bras et expliquait une part significative de la variance de la $\dot{V}O_2$ max (Bénéfice, 1990). Ce travail est présenté et commenté dans la deuxième partie.

Ces observations réalisées chez des enfants normaux et bien nourris de sociétés occidentales permettent de mieux comprendre la physiologie de l'exercice d'enfants exposés à la dénutrition. La possibilité d'un effet d'entraînement provoqué par un haut niveau d'activité physique dû au mode de vie des populations des pays en développement sera un facteur à considérer dans l'étude de l'aptitude physique.

2) Aptitude physique d'enfants exposés à la dénutrition.

2-1) Conséquences biologiques des carences nutritionnelles

Il est reconnu que le déficit en nutriments est responsable d'anomalies des fonctions humaines telles que la capacité de travail, le comportement, l'apprentissage et l'immuno-compétence. Ces perturbations reconnues dans le cas de malnutrition sévère sont plus discutées dans les cas de troubles discrets qui affectent plus de 40% des enfants des pays en développement. Le déficit énergétique n'est pas seul responsable d'anomalies mais d'autres carences en nutriments et micro-nutriments doivent être prises en compte. En ce qui concerne les adaptations cardio-vasculaires, un groupe d'expert recommandait récemment la prise en compte des déficiences en fer, essentiel pour le transport d'oxygène; de vitamine du groupe B, thiamine et riboflavine; de la vitamine C qui pourrait interférer avec la libération de catécholomane (Buzina et al, 1989).

Au cours d'un exercice, le niveau de consommation d'oxygène atteint dépend d'une part, au niveau central d'un système d'apport d'oxygène efficace d'autre part, au niveau périphérique de l'effecteur musculaire qui va l'utiliser (Astrand et Rodahl, 1978; Cotes et Davies, 1969). Chacun de ces deux éléments est susceptible d'être altéré dans la malnutrition. Nous avons déjà envisagé dans le chapitre concernant la bioénergétique du malnutri (1er partie, Chapitre II) les effets des carences sur l'appareil loco-moteur et les muscles, aussi ne traiterons-nous ici que des effets sur le système d'apport d'oxygène. Celui ci peut être schématiquement divisé en 3 composantes: un système de captation de l'oxygène représenté par l'appareil respiratoire; un système de délivrance de l'oxygène aux tissus, le sang servant de véhicule; un système de transport représenté par la pompe cardiaque. En pratique le système de captation n'est un facteur limitant durant l'exercice, seuls peuvent l'être le système de délivrance et de transport.

2-1-1) Conséquences des carences nutritionnelles sur la physiologie du globule rouge.

L'anémie est fréquente chez les enfants dénutris. Plusieurs causes ont pu être évoquées (Warrier et al, 1990): a) une altération du métabolisme des lipides érythrocytaires entraînant des anomalies de la membrane; b) une carence en protéine provoquant un défaut d'acides aminés pour la synthèse cellulaire et de l'hémoglobine; d'autres troubles associés sont possibles tels qu'un blocage dans la maturation des erythrocytes, une réduction de la sécrétion d'érythropoïétine, une tendance à l'hémolyse; c) une déficience en fer essentiellement quand l'alimentation est déficiente en viande c'est à dire en fer héminique; d) on a évoqué également une carence en folates, en vitamine E et en micronutriments tels que cuivre ou sélénium. Des facteurs non-nutritionnels peuvent intervenir pour provoquer une anémie dans la malnutrition, c'est le cas des infections qui entraînent une redistribution des réserves de fer avec une capture par le système réticulo-endothélial et une phagocytose accrue des globules rouges.

Dans certains cas l'anémie peut être considérée comme un phénomène adaptatif, ainsi la réduction de masse corporelle dans la malnutrition provoque une baisse de la demande métabolique et par suite de la synthèse d'hémoglobine et de globules rouges (Vitéri et al, 1974). Cet état d'équilibre est extrêmement précaire et n'est possible que si la demande n'est pas accrue brutalement à la suite d'un épisode infectieux par exemple. Le déficit en fer est un facteur limitant au cours de la phase de récupération nutritionnelle car on observe dans ce cas une chute des réserves en fer, de son absorption intestinale et une forte stimulation de la synthèse d'hémoglobine.

Toutes ces anomalies sont responsables chez le sujet malnutri, même modérément, d'anomalies du système de transport de l'oxygène. La courbe de dissociation de l'hémoglobine est déviée vers la gauche avec une baisse du coefficient de Bohr et une baisse de la concentration d'hémoglobine ce qui aboutit à une diminution de 10%, au cours de l'exercice, de l'extraction d'oxygène de la circulation systémique par rapport au sujet normal (Dahners et al, 1990).

La carence en fer, en dehors d'une perturbation du système de transport d'oxygène aux tissus peut provoquer d'autres anomalies. On a observé sur modèle animal une réduction de la concentration en hémoglobine et en cytochrome C (Dallman et Schwartz, 1965). On a décrit aussi une diminution de l'activité alpha-glycérophosphate oxydase qui provoque un mauvais fonctionnement de la glycolyse avec accumulation de lactates (Finch et al, 1979).

2-1-2) Anomalies du fonctionnement cardiaque au cours de la malnutrition.

On a décrit de nombreuses anomalies cardiaques chez l'enfant sévèrement dénutri. La perte de masse musculaire qui est observée dans les amaigrissements touche également le myocarde. La mobilisation d'acides gras et d'acides aminés concerne le coeur qui n'est pas un organe particulièrement protégé. Dans les cas de malnutrition sévère à type de marasme on note une hypothermie avec bradycardie, une pression artérielle basse, un débit cardiaque faible avec des signes de mauvaise perfusion tissulaire et une consommation d'oxygène abaissée. L'évolution terminale se fait vers un collapsus cardio-vasculaire (Talner, 1990). Les observations anatomiques mettent en évidence un coeur de petite taille en corrélation avec l'amaigrissement (Mukherjee et al, 1982). Les fibres myocardiques sont plus petites et plus fines que les fibres normales. La silhouette cardiaque aux rayons X est diminuée et après la réhabilitation il se produit une augmentation de taille avec des risques de surcharge dans la circulation droite. L'électrocardiogramme montre un bas voltage avec une bradycardie sinusale et un aplatissement des ondes T (Smythe et al, 1962). Les études en échocardiographie montrent une baisse du volume d'éjection systolique et du débit cardiaque mais relativement à l'unité de poids ces indices restent normaux (Heymsfield, 1978).

Dans un état de dénutrition il y a une diminution à la fois de l'activité du système de transport d'oxygène et de la demande d'oxygène par les tissus. Si celle ci augmente rapidement comme au cours d'un épisode fébrile, l'adaptation cardio-vasculaire n'est plus possible. Les études sur modèle animal montrent toutefois que même en cas de dénutrition grave la mécanique cardiaque et la contractilité restent normales (Nutter et al, 1978).

2-2) Malnutrition et aptitude physique: les observations recueillies au cours d'études de terrain.

2-2-1) Capacité à supporter une charge et puissance aérobie.

Les plus anciennes études sur la physiologie de l'exercice chez les enfants considérant la malnutrition comme facteur limitant ne datent que d'une vingtaine d'années. Toutefois, ce problème est reconnu comme potentiellement important depuis plus longtemps, en particulier en ce qui concerne le rôle de la masse corporelle (Rodahl et al, 1961). Dans ce qui apparaît être la plus ancienne étude africaine Arekog en 1971 a comparé le travail mécanique pour une fréquence cardiaque de 170 (PWC 170) entre des groupes de garçons de 9 à 14 ans supposés bien- et malnutris. Cette étude est souvent citée comme preuve de l'adaptation des malnutris à leur condition et mérite d'être analysée. Pour tous les groupes les apports énergétiques étaient peu élevés et les moyennes de poids et de taille inférieures à celles de la population du NCHS, ce que n'indiquait pas l'auteur; de plus paradoxalement ces indices anthropométriques sont plus bas dans le groupe des 9-10 ans supposé bien-nutri que celui des malnutris. La sélection nutritionnelle étant faite sur la base du rappel de consommation alimentaire des 24 heures. La PWC 170, dans cet article, était inférieure de près de 40% en valeur absolue à celle d'enfants normaux de Californie (Adams et al, 1961) et de 13 à 35% en valeur relative, c'est à dire par kg de poids, bien que l'auteur soutienne que relativement à leur poids les enfants éthiopiens avaient une aptitude pour leur âge comparable à celle d'enfants occidentaux, sans fournir toutefois d'éléments de comparaison. Il n'y avait pas de corrélation entre la consommation alimentaire et la PWC 170, ce qui n'est guère surprenant quand on connaît l'imprécision de ce type d'enquête (Ferro-Luzzi, 1982), mais ne permet pas pour autant de conclure à l'absence d'effet nutritionnel. En fait les résultats de ce travail indiquent clairement que ces enfants souffraient de malnutrition chronique et que leur capacité de travail physique était sub-normale et non pas qu'ils étaient aussi performants que les enfants occidentaux, à moins de

supposer que l'efficacité mécanique et métabolique des enfants en mauvaise condition est supérieure à celle des enfants en bonne santé.

Cette question d'efficacité souvent mise en avant pour soutenir le concept d'adaptation nutritionnelle (Banerjee et al, 1970; Ghesquière et DHulst, 1988) a fait l'objet d'une expérimentation méthodique par le groupe de Spurr (Spurr et al, 1984). Ces auteurs ont étudié les relations entre le travail fourni et l'énergie dépensée au cours d'un exercice sur tapis roulant en ne considérant que la partie linéaire de la courbe correspondant donc à un effort sous-maximal. Leur échantillon était de 658 garçons de 6 à 16 ans appartenant à des milieux pauvres et riches de Cali et sa région en Colombie. Il existait un effet significatif de l'âge et de l'état nutritionnel sur la consommation sous-maximale d'oxygène et rapportée à l'unité de poids la consommation d'oxygène des enfants dénutris était plus élevée que celle des enfants normaux. L'efficacité globale (gross efficiency) jugée sur le rapport travail fourni/énergie dépensée pour une pente de 15% et une vitesse de 5,6 km/h. était plus faible dans le groupe des dénutris par contre le changement d'efficacité au cours de l'exercice (delta efficiency) ne présentait aucune différence selon l'âge et l'état nutritionnel. Pour les auteurs il existe des biais dans le calcul de l'efficacité globale du fait d'une interaction entre l'âge et les petits poids et on doit considérer que la mesure du changement d'efficacité au cours de l'exercice est le meilleur critère de jugement. Dans ces conditions leur étude montre qu'en aucun cas les sujets de petite taille et de petit poids, soit du fait de l'âge ou de leur état nutritionnel, ne peuvent être considérés comme plus efficaces que les sujets de plus grande dimension.

La méthodologie et l'analyse de Spurr et collaborateurs sont plus rigoureuses que celles d'Areskog et leurs conclusions emportent la conviction d'autant qu'elles sont corroborées par d'autres observations. En Tanzanie une étude sur 141 garçons et filles en bonne santé âgés de 7 à 17 ans montrait que leur $\dot{V}O_2$ max prédite n'était pas significativement différente d'enfants anglais bien qu'ils fussent plus petits et plus légers (Davies, 1973a) par contre lorsque l'on

tenait compte des différences d'état nutritionnel on observait que les enfants dénutris avaient une fréquence cardiaque plus élevée et une $\dot{V}O_2$ max prédite plus faible que celle des enfants normaux. La réduction de $\dot{V}O_2$ max était significativement associée à la diminution de taille et de masse maigre (Davies, 1973b). Des résultats similaires ont été rapportés ailleurs (Desai et al, 1981; Bhatia et Seshadri, 1987). En Inde 96 enfants âgés de 14 à 17 ans mais dont l'état nutritionnel durant la première enfance était connu (Satyanarayana et al, 1979) ont été étudiés. Une partie de ces enfants était toujours malnutrie à l'adolescence et si les performances au cours d'un exercice exprimées par unité de poids n'étaient pas significativement plus basses que celles des enfants normaux, la fréquence cardiaque pour un travail de $300 \text{ kgm} \cdot \text{min}^{-1}$ était plus élevée, ce qui était interprété comme un désavantage par les auteurs du rapport. L'importance des dimensions corporelles comme déterminant des performances était dans ce cas aussi soulignée.

Cependant certaines observations montrent que lorsque la masse musculaire est prise en compte certains enfants marginalement malnutris ont une $\dot{V}O_2$ max par unité de masse maigre plus élevée que celle des enfants normaux (Spurr et al, 1983), ce qui suppose des différences dans les contraintes et l'utilisation des muscles entre les enfants normaux et malnutris. Une étude de la masse maigre par mesure de l'espace de dilution de l'antipyrine (indice de l'eau totale) et du thiocyanate (volume extracellulaire) a révélé que les enfants malnutris avaient une diminution plus grande de tissu musculaire que de tissu de soutien (cartilages, squelette) (Barac-Nieto et al, 1984); cette étude suggère la possibilité d'une plus grande capacité oxydative de leurs cellules musculaires. Ceci peut être parce que ces enfants dénutris devaient maintenir une activité aussi élevée que les enfants normaux en dépit d'une masse musculaire plus basse. Cet effet, augmentation de la capacité oxydative sans augmentation de la masse musculaire, est d'ailleurs recherché dans les entraînements aérobie (McArdle et al, 1987).

Au Brésil, Desai et collaborateurs (1984) ont rapporté qu'au cours d'un exercice sous-

maximal la consommation d'oxygène pour une même charge était identique chez des adolescents normaux et des adolescents avec retard de croissance, mais que la fréquence cardiaque était plus élevée chez les derniers indiquant qu'ils effectuaient l'exercice à un pourcentage plus élevé de leur capacité maximale de travail. De plus la production sanguine d'acide lactique des malnutris était précocément élevée témoignant du fait que leurs muscles étaient soumis à une plus forte contrainte et que leur activité glycolytique était forte. Dans cette étude, il n'y avait pas d'indication que la charge d'activité entre les groupes ait été différente.

2-2-2) Performances motrices et puissance anaérobie.

Les études prenant compte les conditions nutritionnelles dans la réalisation de performances motrices par les enfants sont rares. Certaines épreuves physiques, course, développement de force maximale, lancer, saut, permettent de se faire une idée de leurs capacités anaéorobies. Malina et Bushang (1985) ont comparé les performances en course, saut, lancer et force de serrage de 364 écoliers Zapotec de la région d'Oaxaca à celles d'écoliers de Philadelphie. Les valeurs montraient une progression régulière avec l'âge et étaient meilleures chez les garçons que chez les filles; mais par comparaison avec les enfants bien nourris de Philadelphie, les performances des petits mexicains étaient toujours inférieures en valeur absolue. Comme les poids pour la taille des 2 groupes ne différaient pas les auteurs ont tabulé les résultats en les ajustant non sur l'âge mais sur le poids et la taille. Dans ces conditions la force de serrage par unité de taille était similaire entre les groupes bien qu'étant légèrement plus basse chez les petits mexicains, par contre les résultats à la course et au saut restaient significativement inférieurs à ceux des écoliers nord-américains, les différences s'accroissant même avec l'âge. Le lancer était la seule épreuve où les enfants mexicains excellaient par rapport à ceux de Philadelphie. Pour les auteurs il s'agirait là d'un effet d'apprentissage, car dans cette région du Mexique les garçons s'entraînent très tôt à lancer des pierres pour la chasse, le gardiennage

des troupes. En conclusion les performances et la force de ces enfants étaient réduites en proportion de leurs dimensions corporelles et ces données ne permettaient pas de retenir l'hypothèse d'une plus grande efficacité fonctionnelle chez les populations de petite taille. Ces résultats témoignent également d'une nette diminution de la capacité anaérobie des enfants marginalement malnutris. Cette diminution qui est supérieure à celle prédite par les dimensions corporelles dans le cas de la course et du saut, pourrait être la traduction d'une altération qualitative au niveau des effecteurs musculaires.

L'environnement physique et culturel joue probablement un rôle important. La même équipe (Malina et al, 1987) a comparé les performances des enfants mexicains à celle d'enfants d'une communauté côtière d'ethnie Pere de Papouasie-Nouvelle Guinée où la malnutrition existe sous forme discrète. Globalement les enfants dénutris du Mexique ou de Papouasie-Nouvelle Guinée réalisaient des performances inférieures à celles d'enfants nord-américains bien nutris, mais des variations existaient entre les communautés: par unité de taille, les enfants Pere réussissaient mieux que les enfants Zapotec dans les épreuves de saut et de lancer.

Une étude très bien documentée faite au Zaïre conforte dans une certaine mesure ces résultats (Ghesquière et Eekels, 1984). Ces auteurs ont comparé les performances motrices, l'état de santé et la croissance d'un groupe de 200 enfants des quartiers pauvres de Kinshasa, de 196 enfants Zaïrois de milieu aisé et enfin de 210 enfants européens vivant dans la zone résidentielle. En valeur absolue les performances des enfants des quartiers pauvres étaient plus mauvaises que celles des autres, les enfants européens ayant le meilleur score. Les enfants des quartiers pauvres étaient plus maigres et plus petits que les autres qui étaient dans la moyenne des standards, les enfants zaïrois d'origine aisée ayant des profils de croissance très proche des enfants européens. Toutefois quand on ajustait les performances à la fois sur l'âge et le poids, la plupart des différences entre groupes disparaissaient et les africains des quartiers pauvres réalisaient même de meilleures performances à la course, en force de

serrage et en lancer de medicine ball. Les auteurs concluaient de ce travail que les mauvaises conditions nutritionnelles affectaient davantage la croissance physique que les performances fonctionnelles. Dans un autre article (Ghesquière et D'Hulst, 1988) ces chercheurs estiment que la malnutrition n'est pas une condition généralisée parmi les enfants africains et que compte tenu de leurs dimensions, ceux ci présentent une capacité fonctionnelle supérieure à celle des enfants européens. Il faut toutefois se garder de généraliser car le mode de sélection des groupes, la définition de leur état nutritionnel. Il est évident, comme le signale Pařízková (1987), que le degré de sévérité de la malnutrition doit être pris en considération. Dans les études citées, les enfants bien qu'ayant une croissance retardée par rapport à celle d'enfants européens ou américains, n'étaient généralement pas amaigris ainsi que le montrait la courbe du poids en fonction de la taille. Ces études montrent que la malnutrition légère et chronique n'a pas, ou peu, d'effet négatif marqué sur les capacités fonctionnelles des enfants. Cette conclusion ressort également dans une autre étude réalisée en Tunisie (Pařízková, 1974) où les enfants issus de familles pauvres, plus maigres mais non dénutris et plus actifs que les enfants de familles riches avaient une capacité aérobie plus élevée. Aussi faut-il considérer d'autres facteurs en relation avec le mode de vie dont certains éléments tels que la nature et l'intensité de l'activité physique, peuvent être des déterminants significatifs des capacités physiques de l'enfant.

Quelles que soient les interprétations qui en sont faites, toutes les études citées témoignent d'une diminution **en valeur absolue** des capacités fonctionnelles de l'enfant malnutri parallèle à son déficit somatique.

3) Capacité de travail et productivité.

Cette question est l'application dans la vie de tous les jours des constatations qui ont été faites sur l'aptitude physique. Bien que la productivité concerne davantage les adultes que les enfants, dans les pays en développement ces derniers même très jeunes, sont associés aux travaux domestiques et de subsistance, aussi allons-nous en donner un aperçu. Les travaux sur le sujet ont généralement concerné des adultes masculins qui présentent de la même manière que les enfants une moindre tolérance à l'effort en cas de malnutrition (Spurr et al, 1979; Barac-Nieto et al, 1980). Dans ces conditions un même travail exigera pour être accompli la participation d'un pourcentage plus élevé de la $\dot{V}O_2$ max pour un sujet dénutri que pour un sujet normal. On estime à 35 à 40% le maximum de $\dot{V}O_2$ max qui peut être utilisé lors d'un effort soutenu durant 8 heures. Un travail d'un coût de 1,5 l.min⁻¹ d'O₂ correspondra à 50% de la $\dot{V}O_2$ max d'un adulte en bonne santé (31.l.min⁻¹ de $\dot{V}O_2$ max) mais sera proche de l'effort maximal pour un sujet maigre et de petite taille. Réciproquement un sujet dénutri travaillant à 40% de sa $\dot{V}O_2$ max produira un effort inférieur de moitié à celui d'un l'homme normal, même si la $\dot{V}O_2$ max relative au poids est identique dans les 2 cas (Spurr et al, 1988 a)

Les quelques études de terrain qui ont été réalisées présentent des résultats variables. Une étude de 57 ouvriers en milieu industriel en Inde a montré que leur rendement était positivement corrélé à leur masse corporelle et à leur poids maigre (Satyarayana, 1977). Une étude au Guatemala concernant des travailleurs de plantations de canne à sucre a établi que ceux qui recevaient un supplément énergétique avaient une masse maigre augmentée et étaient capable d'accomplir des tâches standardisés plus rapidement et à plus haute intensité que les travailleurs non supplémentés (Viteri, 1982). Cependant cette équipe de chercheurs dans un autre travail où l'apport quotidien des travailleurs était porté à 3500 Cal/jour durant 3 mois, n'a pas observé d'augmentation de rendement si ce n'est transitoirement par rapport à des ouvriers non supplémentés. Comme le poids de ces travailleurs n'était pas modifié, il est à supposer que le supplément énergétique était investi dans des activités domestiques ou de

loisirs (Viteri et al, 1981). Une autre publication de ce groupe confirme ces résultats et ne retrouve pas de relation nette entre gains de productivité et composition corporelle; les sujets minces et musculeux étant cependant les plus performants (Imink et al, 1987).

Les commentaires suivants sur les enseignements à retirer de ces travaux peuvent être faits:

- En premier lieu, il est évident que l'homme n'est pas une simple machine ou un animal de trait et son rendement au travail, à partir du moment où sa condition physique et son alimentation sont correctes, dépend d'autres facteurs que nutritionnels.
- Les suppléments qui ont été accordés dans certaines études ont permis aux ouvriers d'avoir une activité hors-travail plus importante, ce qui est un élément de bien être à considérer.
- Il est peu vraisemblable, même en période d'activité élevée que l'intensité de charge des travailleurs se situe en permanence à un haut niveau de leur $\dot{V}O_2$ max. Il serait toutefois intéressant d'étudier le seuil anaérobie des travailleurs marginalement nutris qui, s'il était supérieur à la normale, expliquerait certaines contradictions observées, c'est le cas de groupes andins ou himalayens par exemple, entre la charge de travail et l'état physique des sujets. Pour faire face à des tâches pénibles on observe que des ajustements se mettent en place avec par exemple, au niveau individuel, aménagement de pauses dans le travail (Davies, 1972; Viteri et al, 1981) et au niveau de la communauté collectivisation des tâches coûteuses en énergie (Panter-Brick, 1987).
- Enfin, si l'amélioration de l'état nutritionnel des travailleurs est à recommander par principe, on ne pourra en escompter un effet positif sur l'économie que dans la mesure où ces travailleurs trouveront les structures qui leur permettront d'être effectivement productifs ce qui est un problème d'une toute autre nature (Martorell et Arroyave, 1988).

CONCLUSIONS.

La malnutrition dans les pays en développement est un phénomène d'apparition précoce, se prolongeant au cours de l'enfance et au delà. Sa traduction morphologique mesurable est un retard de croissance en taille associé ou non à un amaigrissement. Chacun de ces deux processus, ou les deux, implique une diminution de la masse corporelle par rapport à ce qu'elle devrait être pour l'âge, c'est à dire une perte absolue de masse musculaire. Cela se traduit par une diminution de la capacité à supporter une charge.

Des divergences apparaissent entre auteurs quand à la signification à donner à ce fait de portée générale. Quelques chercheurs constatant que, dans certains cas, le déficit fonctionnel disparaît quand le résultat est exprimé par unité de poids ou de taille, estiment qu'en conséquence il n'y a pas de différence de performances entre enfants normaux et malnutris. On a pu bâtir autour de ces affirmations une théorie selon laquelle les sujets ayant des dimensions corporelles réduites seraient fonctionnellement plus efficaces que les sujets normaux.

Ces vues ne résistent cependant pas à l'épreuve des faits et à ce jour aucune démonstration n'a été faite d'une adaptation physiologique à la malnutrition. Les raisons de certains résultats apparemment contradictoires doivent être recherchées dans l'insuffisance méthodologique des expérimentations ainsi que dans le manque de rigueur dans la définition de l'état nutritionnel.

2em PARTIE: TRAVAUX PERSONNELS.

INTRODUCTION.

Les travaux présentés dans cette deuxième partie sont le fruit d'une expérience personnelle de recherche de terrain dans le domaine de la malnutrition et de l'aptitude physique. Orienté initialement vers l'épidémiologie nutritionnelle, j'ai pu observer que des populations vivant dans un même environnement physique pouvaient développer des stratégies différentes pour subsister c'est à dire, de mon point de vue, couvrir leurs besoins nutritionnels. A contrario, ayant eu la chance de travailler dans des régions aussi différentes que le Sahel ou la forêt amazonienne, j'ai constaté que la malnutrition s'y manifestait à des degrés divers mais sous des formes semblables. Les deux premiers articles présentés qui traitent des manifestations de la malnutrition dans des conditions réelles, montrent que les réactions physiologiques à l'insuffisance alimentaire sont toujours identiques même si les ajustements qui se produisent pour y faire face diffèrent. Pouvait-on toutefois en inférer que les conséquences à terme de la malnutrition, problème de santé publique de première importance, étaient les mêmes dans tous les cas?

Poser cette question revenait à s'interroger sur la signification biologique et la valeur prédictive des indices anthropométriques de malnutrition. Il s'agit là d'un vaste problème que je n'ai pas la prétention d'avoir résolu. J'ai essayé d'y contribuer modestement en analysant non pas les causes et mécanismes d'action de la malnutrition mais plutôt ses conséquences fonctionnelles. Cette approche m'a conduit naturellement à m'intéresser à l'aptitude physique du malnutri, comme indicateur global du "fonctionnement" des enfants dans la vie de tous les jours. C'est l'objet des quatre articles suivants qui vont traiter successivement de l'aptitude physique et de l'activité d'enfants en bonne de santé, servant en quelque sorte de référence pour les autres observations; ensuite de l'aptitude physique et du développement des habiletés motrices d'enfants d'âge préscolaire exposés à la malnutrition; enfin de l'aptitude et de

l'activité physique habituelle d'enfants d'âge scolaire également "à-risque" de malnutrition.

1) Manifestations communautaires de la malnutrition.

1-1 Etudes des variations saisonnières des apports alimentaires et de l'état nutritionnel: le cas des éleveurs du Ferlo sénégalais.

Nutritional situation and seasonal variations for pastoralist population of the Sahel (Senegalese Ferlo).

Eric Bénéfice, Simon Chevassus-Agnès and Henri Barral. Ecology of Food and Nutrition, 1984, 14, 229-247.

Ce travail avait pour cadre une étude multidisciplinaire sur les conséquences écologiques et humaines de la dégradation du milieu naturel du Ferlo sénégalais. L'objectif initial de notre contribution était de faire une analyse épidémiologique descriptive de la situation nutritionnelle. Après une première enquête il nous est apparu intéressant de réaliser un suivi régulier d'un échantillon d'éleveurs ce qui permettrait d'analyser leurs stratégies adaptatives face au risque récurrent de pénurie alimentaire. Pour cela un groupe de 41 familles "étendues" (gallés) soit un effectif de 450 à 500 personnes, a fait l'objet à 4 reprises d'une étude nutritionnelle et de consommation alimentaire

Les principaux résultats de ces enquêtes sont la mise en évidence d'un déficit saisonnier alimentaire durant la saison des pluies en août-septembre, par rapport à une ration alimentaire acceptable en saison fraîche en janvier-février. De manière paradoxale ce déficit alimentaire avait une traduction peu marquée au plan nutritionnel individuel, en particulier chez les enfants bien que leur condition physique puisse être considérée comme généralement médiocre. Les variations étaient plus importantes chez les adultes hommes et les grands enfants que chez les femmes et les petits enfants. L'interprétation donnée à ce fait était que les derniers étaient relativement protégés par une alimentation lactée abondante durant la période

des pluies et que les femmes, contrairement aux hommes, devaient maintenir une activité physique importante toute l'année pour assumer les tâches domestiques. En outre, des comparaisons avec d'autres enquêtes effectuées dans la région voisine de la vallée du fleuve Sénégal, nous ont montré que la prévalence de la malnutrition chez les enfants des nomades du Ferlo était plus faible que celle des agriculteurs sédentaires et qu'au plan qualitatif l'alimentation des éleveurs était meilleure (Bénéfice et al, 1986).

En conclusion, nous avons souligné la relative "réussite" de la stratégie de subsistance adoptée par ces éleveurs qui parvenaient à équilibrer assez bien leur bilan énergétique sur un cycle annuel complet, dans une période "normale". Une estimation sommaire de l'activité physique nous a montré que ce groupe en réduisait significativement l'intensité en période de pénurie. Cette réduction est rendue possible par leur mode de vie qui leur permet de faire coïncider une moindre charge de travail avec un déficit alimentaire, contrairement aux populations d'agriculteurs sédentaires. Les conséquences physiologiques de ces différents niveaux d'activité ne sont évidemment pas les mêmes en particulier en ce qui concerne la composition corporelle (voir 1er partie, Chapitre 2, paragraphe 3).

Ce travail s'est enrichi par rapport à son objectif initial simplement descriptif initial et il montre l'intérêt d'une étude systématique des capacités fonctionnelles et de l'activité physique des sujets dans ce type d'évaluation.

1-2) Différences dans l'état nutritionnel de populations vivant dans un même milieu mais de cultures différentes: le cas des Indiens Sionas-Sécoyas et des colons de l'Amazonie équatorienne.

Differences in life style and nutritional status between settlers and Siona-Secoya Indians living in the same amazonian milieu.

Eric Bénéfice and Henri Barral. Ecology of food and Nutrition, 1991, 35,307-322.

Cette deuxième étude de cas avait pour objectif initial d'examiner l'hypothèse selon laquelle, l'échec de la colonisation de la région pétrolière de la partie amazonienne de l'Equateur pouvait être imputée aux difficultés des populations en matière d'alimentation et de santé. Confronté à la réalité de la situation sur le terrain, il nous est apparu rapidement que le problème qui se posait était plutôt celui de l'homogénéisation des modes de vie avec disparition du "modèle traditionnel indien" sans aucune garantie de réussite du "modèle moderne" représenté par les colons. Pour analyser l'efficacité de chacun des modèles, nous avons comparé une communauté indienne d'ethnie Siona-Sécoya à des familles de colons vivant dans la même zone, au plan de leur situation clinique, parasitologique et anthropométrique; de leur consommation alimentaire et de leur production agricole. Les deux groupes vivant dans un état proche de la subsistance.

Dans cette étude également des choix différents en matière de subsistance se traduisaient par une situation sanitaire et nutritionnelle différente. Même si la prévalence de la malnutrition était faible et qu'il n'y avait pas de cas de dénutrition grave chez les moins de 5 ans; la situation globale était médiocre avec des retards de taille de -2 écart-types chez 30% des enfants préscolaires. Il existait des différences anthropométriques significatives entre les 2 communautés chez les enfants de plus de 5 ans. Les petits indiens avaient de meilleurs indices anthropométriques que les petits colons; ces différences se retrouvaient chez les grands enfants et adolescents et chez les hommes. Les différences génétiques ne pouvaient rendre

STRUCTURE DE LA RATION

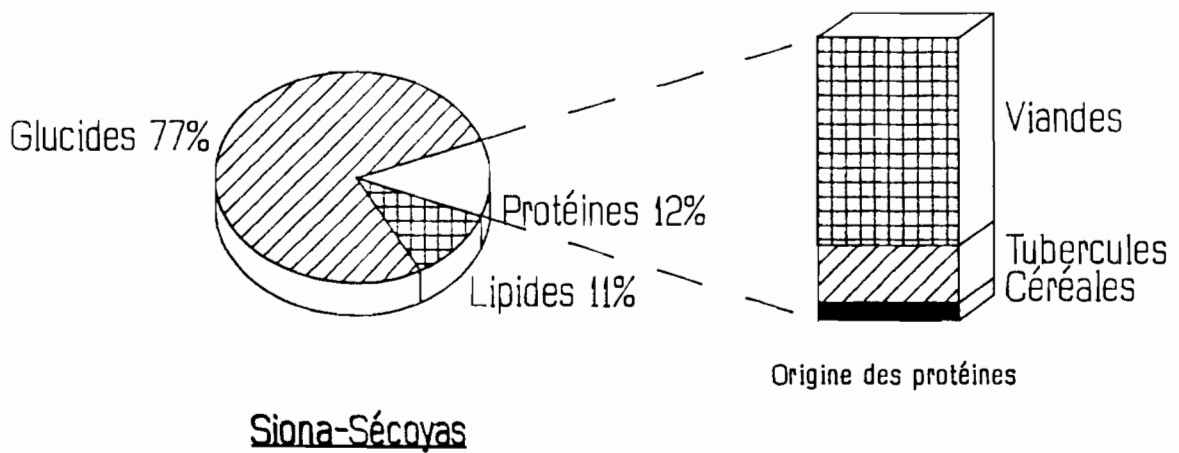
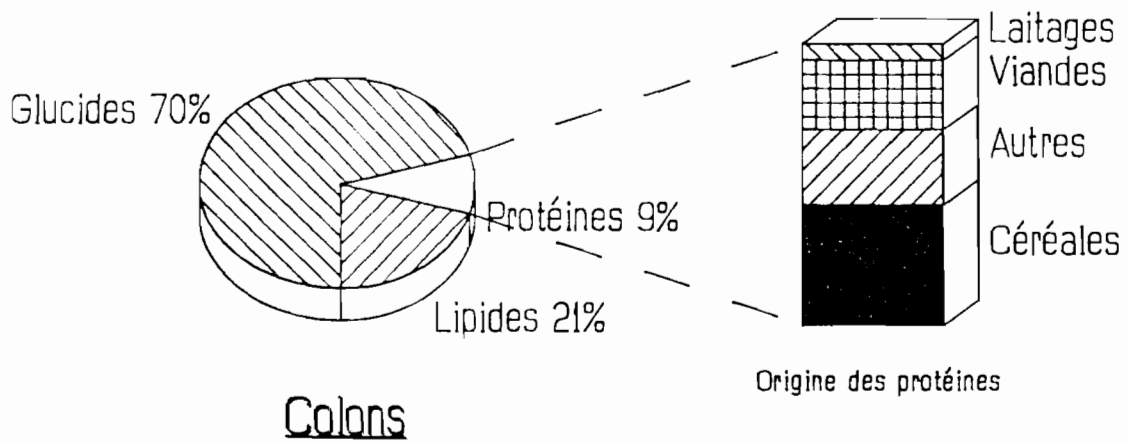


figure n° 5

compte de toutes ces variations, les colons étant le plus souvent soit de purs amérindiens soit des métis. Dans une autre publication non présentée ici (Bénéfice et al, 1989) nous avons trouvé des différences anthropométrique et de croissance selon l'origine géographique des colons: ceux qui venaient des Andes (Sierra) étaient plus retardés que ceux qui venaient de la Côte. Les différences étaient très significatives pour le groupe des 6-12 ans. Plusieurs explications pouvaient être apportées, d'une part le ralentissement de la croissance chez les populations soumises à l'hypoxie chronique de l'altitude, dont les effets peuvent être transmis (Melton et al, 1991); d'autre part une plus grande acclimatation des populations côtières au milieu amazonien.

Les différences d'état nutritionnel entre Indiens et colons pouvaient s'expliquer aussi par des conditions d'hygiène plus mauvaises chez les colons (infestation parasitaire supérieure chez les petits colons) et une alimentation qualitativement supérieure des Sionas-Sécoyas, particulièrement dans les apports de protéines animales. Sur le plan agricole, la productivité des Indiens était supérieure à celle des colons.

En conclusion de ce travail nous avons souligné la plus grande efficacité du système de subsistance des Sionas-Sécoyas par rapport à celui des colons.

Ces deux études présentent plusieurs points de similitude: a) la malnutrition sévère y est rare mais par contre les formes discrètes concernent environ 1/3 des enfants. b) il existe une liaison entre l'état nutritionnel et le mode de vie arbitré par la situation alimentaire; c) les conditions de subsistance de ces groupes sont extrêmement précaires mais dans le cas des éleveurs Peuls et des horticulteurs Sionas-Sécoyas, ils réussissent à tirer un profit maximum des possibilités qui leur sont offertes: c'est un exemple d'adaptation culturelle à des situations contraignantes.

Cependant pour ces deux travaux se posent la question des implications biologiques de cette malnutrition légère et des conséquences pour le développement de la communauté.

L'importance de certains facteurs tels que l'efficacité du travail, la capacité de supporter une charge, les profils d'activité physique est évoquée et leur mesure aurait assurément affermi le diagnostic.

2) Les relations entre l'état nutritionnel et anthropométrique et les capacités fonctionnelles des enfants.

2-1) Le cas des enfants normaux ayant des types différents d'activité physique.

Differences in aerobic and anthropometric characteristics between peripubertal swimmers and non-swimmers.

E. Bénéfice, J. Mercier, M.J. Guérin, Ch. Préfaut. International Journal of Sports Medicine. 1990, 6, 456-460.

Cette étude a été faite auprès de 140 garçons en bonne santé de Montpellier âgés de 10 à 15 ans, parmi lesquels 45 subissaient un entraînement régulier de natation. Le but de ce travail était de décrire les différences anthropométriques et aérobiques attribuables à un entraînement physique régulier avant la puberté.

Le groupe des nageurs pratiquait la compétition à un niveau régional et s'entraînait régulièrement 3 à 5 fois par semaine à raison de 2 heures à chaque séance depuis au moins 2 ans. Les non-nageurs n'avaient pas d'activité sportive en dehors des 3 heures hebdomadaires obligatoires. Chaque enfant a fait l'objet d'un examen anthropométrique incluant des mesures de plis cutanés pour l'estimation de la composition corporelle; un examen clinique avec évaluation du stade pubertaire; enfin a réalisé une épreuve d'effort maximale sur ergocycle. Cette épreuve consistait en un protocole continu progressif où après 3 minutes d'échauffement à 30 watts, la charge était augmentée de 20 watts par minute jusqu'à l'épuisement. Une fraction des gaz expirés était collectée pour la mesure des concentrations en O₂ et CO₂.

Les résultats indiquaient qu'il n'y avait pas d'interaction entre l'âge chronologique ou la maturation pubertaire et la pratique de la natation. Les enfants qui nageaient avaient de meilleurs indices anthropométriques mais la signification statistique n'était atteinte que pour les indicateurs de masse et composition corporelle tels que la surface musculaire des bras et le

Valeurs Relatives de $\dot{V}O_2$ max

Comparaisons nageurs/non nageurs

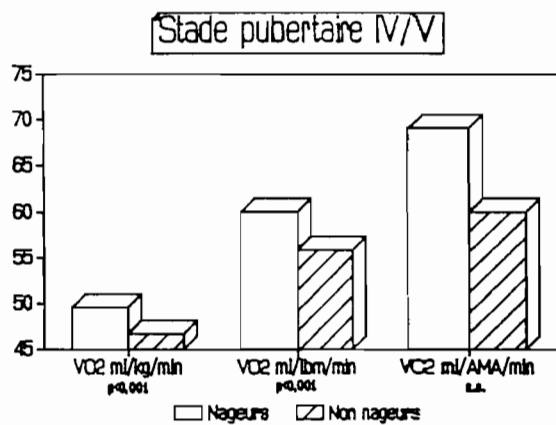
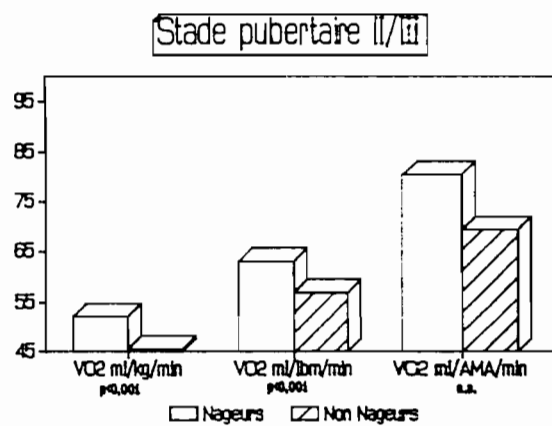
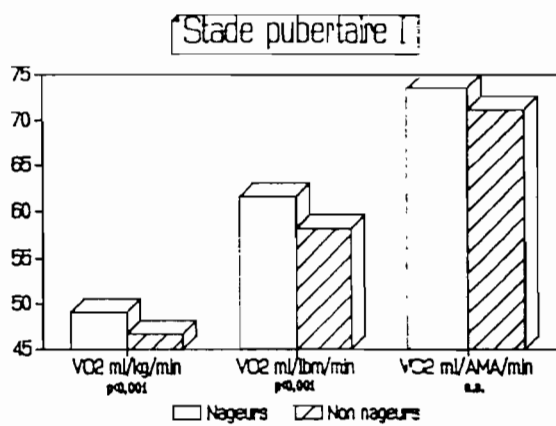


figure n° 6

périmètre thoracique. Quand la $\dot{V}O_2$ max était exprimée par unité de poids ou de masse maigre, les nageurs avaient des valeurs plus élevées que les non-nageurs mais ces différences disparaissaient quand elle était exprimée par unité de masse musculaire du bras. Les différences de capacité de travail entre nageurs et non-nageurs étaient donc sous-tendues par des différences de musculature des bras.

Les modifications anthropométriques relevées dans cette étude étaient intéressantes à plusieurs titres: elles survenaient sur des enfants n'ayant pas commencé ou achevé leur puberté alors que les modifications importantes spécifiques d'un sport donné se produisent classiquement après la puberté; elles étaient observées pour des volumes relativement modestes d'entraînement; enfin elles portaient sur la composition corporelle plus que la morphologie et étaient associés à l'augmentation des capacités aérobies des nageurs.

La nage de style crawl utilise essentiellement la force de propulsion des bras. L'action des bras est plus économique que celle des jambes, elle permet de réaliser un gain énergétique par rapport à celle des jambes (Chatard et al, 1990). Les caractéristiques morphologiques naturelles de l'homme en font un des animaux de la création les plus inadaptés qui soit au milieu aquatique, privilège qu'il partage avec le vison. Ayant un métabolisme basal proche de celui du phoque, il nage 7,4 fois moins vite et dépense 4,6 fois plus d'énergie pour parcourir une même distance (Videler et Nolet, 1990). Dans ces conditions un des objectifs d'un entraînement bien conduit doit être de réaliser les adaptations morphologiques visant à améliorer l'économie de la natation: augmentation de la flotabilité, augmentation de la force de propulsion, diminution du coût énergétique, diminution des résistances et de la traînée d'onde. Dans cette étude les modifications morphologiques constatées, augmentation du périmètre thoracique, et de composition corporelle, augmentation de la masse musculaire des bras, concourent très précocément à la réalisation des adaptations recherchées.

En conclusion, au delà du cas particulier des enfants nageurs, cette étude a une portée générale pour la connaissance du développement de l'aptitude chez l'enfant normal et

également chez l'enfant malnutri: les relations entre caractéristiques anthropométriques et la capacité aérobie y sont soulignées et le rôle structurant, sur les caractéristiques physiques, et formateur, sur les habiletés motrices, de l'activité physique y est rapporté.

2-2) Etude de l'aptitude physique et des performances motrices d'enfants légèrement dénutris d'âge présolaire.

2-2-1) Nutritional Status and Development of Working Capacity of Preschool Senegalese Children.

Eric Bénéfice. A paraître dans Early Child Development and Care, volume 73, 1991.

Dans ce travail, et celui qui suit, j'ai suivi régulièrement au cours d'une période d'un an, un échantillon d'enfants sénégalais, âgés de 3 à 5 ans, vivant dans une communauté du Centre du pays où la prévalence de la malnutrition est forte.

L'objectif de cette étude était de décrire le développement fonctionnel et somatique d'enfants exposés à la malnutrition légère et par la comparaison avec les performances d'enfants bien nutris, de mettre en évidence le rôle limitant des facteurs nutritionnels.

L'échantillon était constitué de 3 cohortes d'enfants, 3, 4 et 5 ans d'âge. 120 enfants ont été testés au départ, mais avec des pertes dues à des migrations, départ à l'école, épreuves incomplètes, nous avons fait l'analyse sur 88 enfants (44 garçons et 44 filles). Seuls les enfants en bonne santé apparente ont été retenus. Il n'a pas été tenu compte des différences de sexe, les garçons ayant cependant des valeurs légèrement mais non significativement supérieures à celles des filles. Ces enfants étaient issus de milieux ruraux pauvres, du Centre et de la Petite Côte, où les apports alimentaires moyens étaient bas et où des déficits quantitatifs ont été notés en période de pluies.

A 3 reprises dans l'année, les enfants ont subi un examen clinique, anthropométrique et ont effectué une épreuve d'effort sur escabeau selon le protocole de Parizkova (1984): ils devaient monter et descendre durant 5 minutes un escabeau de 2 marches de 23 cm de hauteur, au rythme de 30 pas à la minute, pendant ce temps leur fréquence cardiaque était enregistrée

Height and Weight by age, Senegalese Girls.

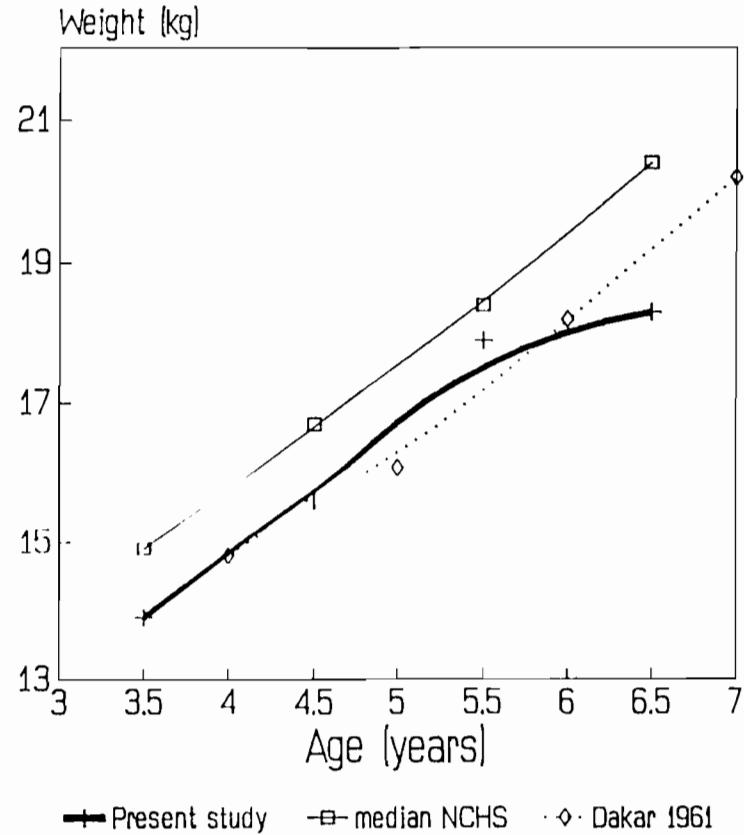
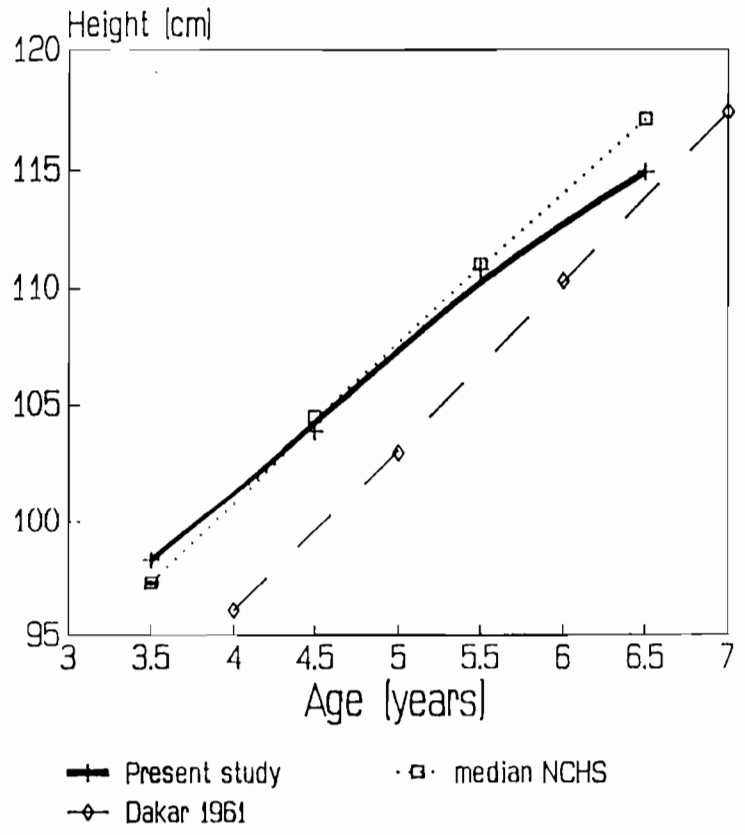
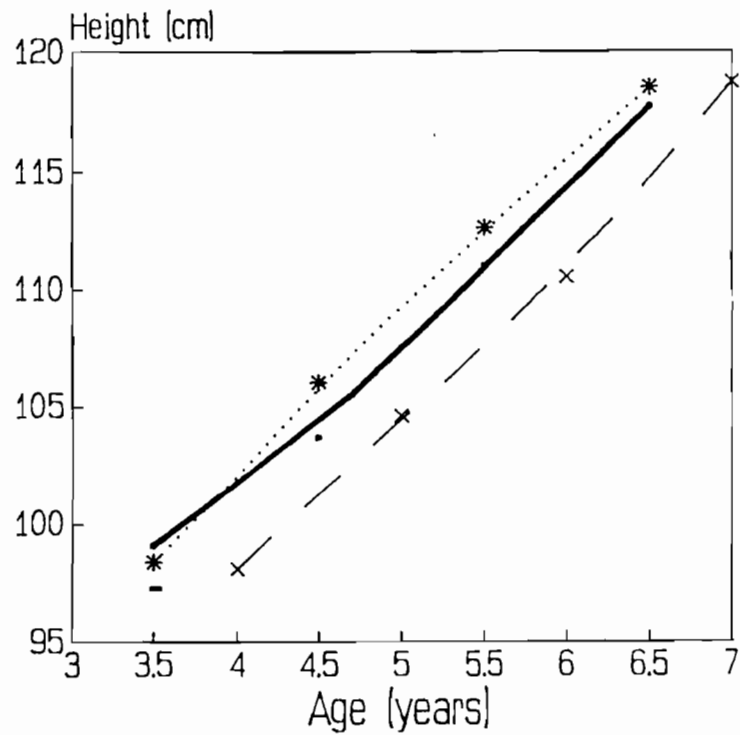
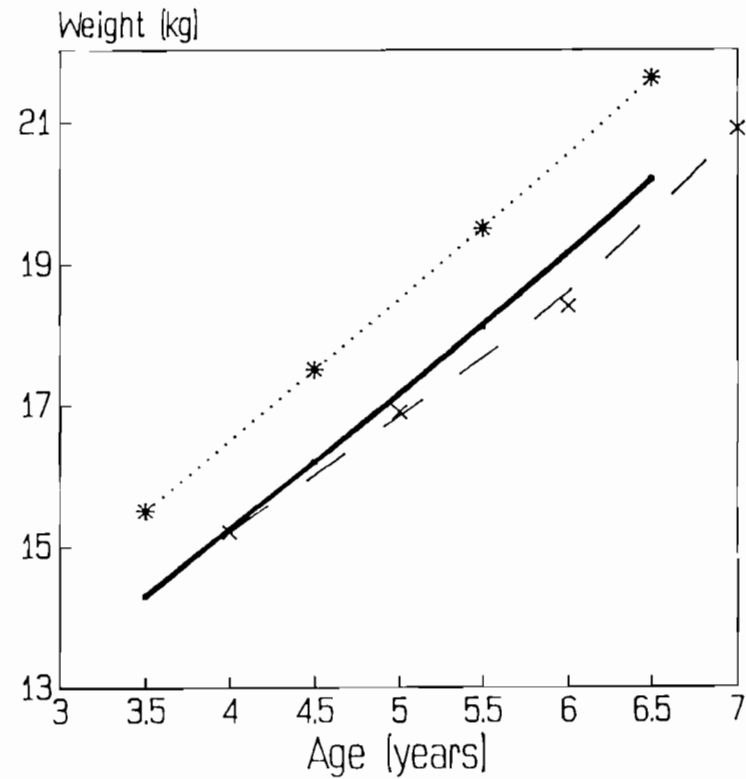


figure n°7

Height and Weight by Age, Senegalese boys.



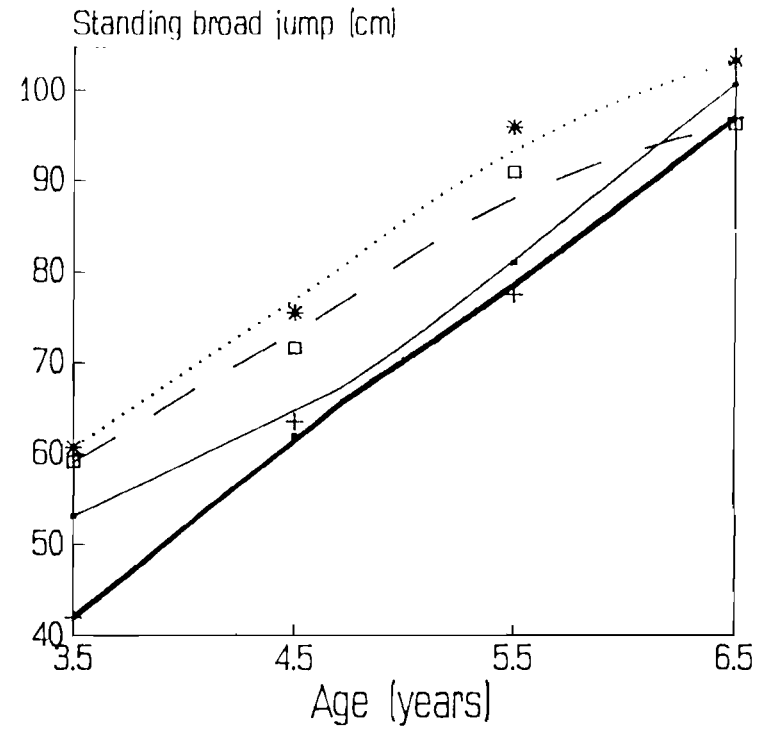
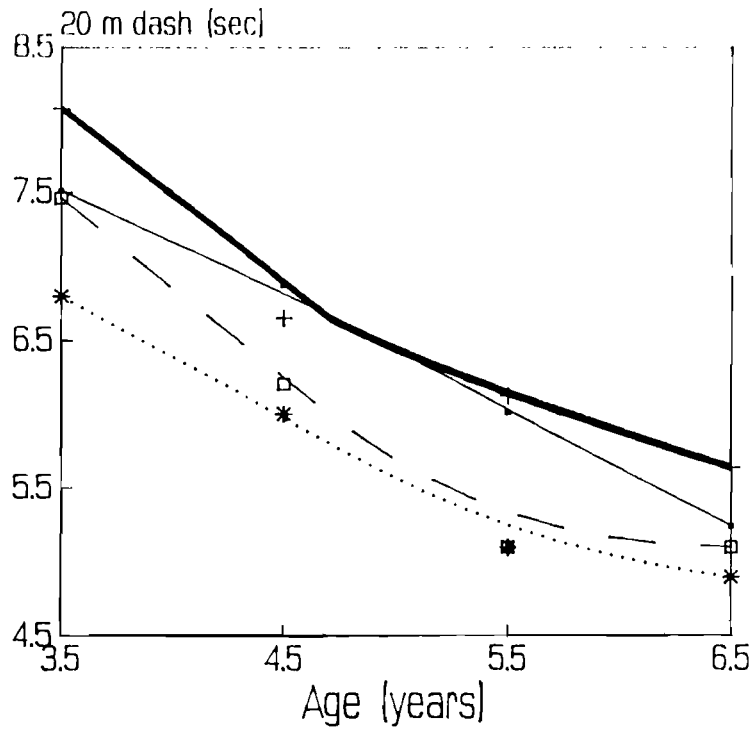
— Present study ·* median NCHS
-x- Dakar 1961



— Present study ·* median NCHS -x- Dakar 1961

figure n° 8

Running and Jumping Performances

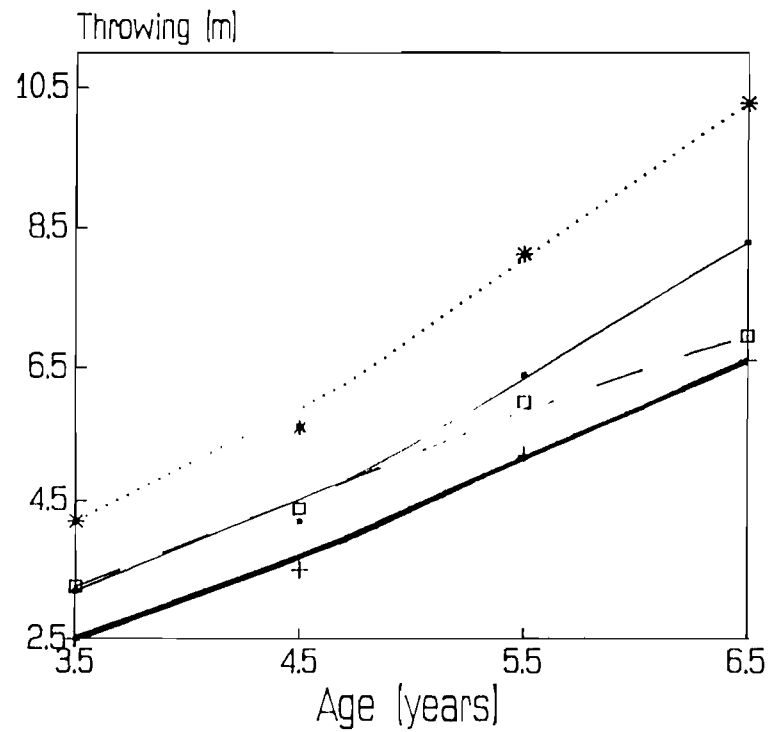


— Senegalese boys — Senegalese girls
 * Czech boys — Czech girls

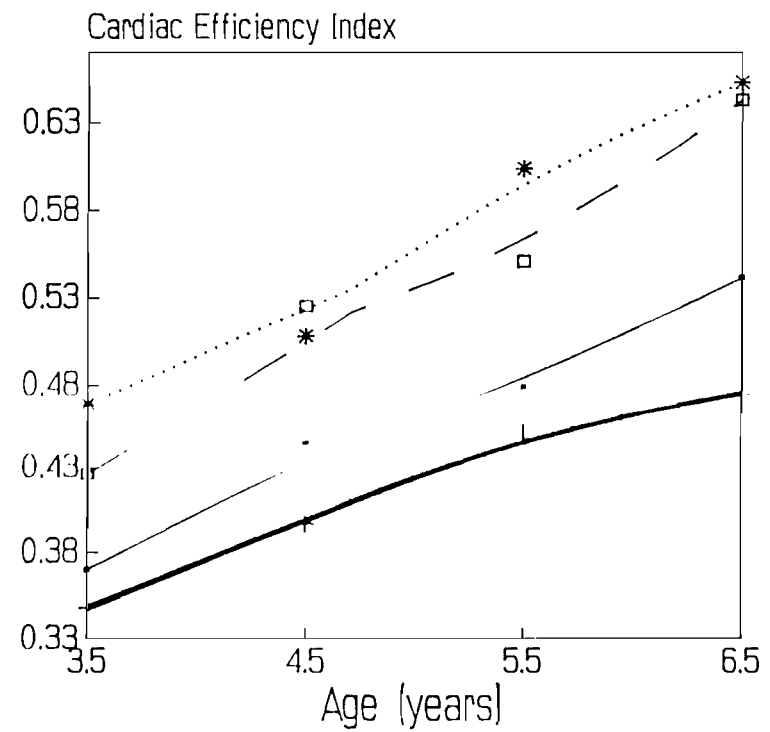
— Senegalese boys — Senegalese girls
 * Czech boys — Czech girls

Figure 12.9

Throwing Performance and CFI values



—•— Senegalese boys —+— Senegalese girls
·*· Czech boys -□- Czech girls



—•— Senegalese boys —+— Senegalese girls
·*· Czech boys -□- Czech girls

figure no 10

toutes les 15 secondes au moyen d'un "Sport Tester".

Les résultats montraient que, même si ces enfants étaient indemnes de maladie grave, 1 sur 3 avait un retard de poids pour l'âge entre -1 et -2 écart-type et 1 sur 5 des retards de taille du même ordre; seuls 19 d'entre eux avaient des indices au dessus de la médiane. Par comparaison à des références internationales, les valeurs anthropométriques des petits sénégalais étaient toujours en dessous de la moyenne. Les comparaisons des indices d'aptitude étaient difficiles car très peu d'études ont concerné ce groupe particulier d'enfant en dehors des études de Parizkova (1984) en Tchécoslovaquie et Ferro-Luzzi (1979) en Italie. Elles ont montré que les petits sénégalais avaient une adaptation cardio-respiratoire à l'effort inférieure à celle des petits européens. Quand on séparait les enfants en 2 groupes, normaux et malnutris en fonction des indices taille/âge et poids/taille, les enfants classés malnutris réalisaient toujours des performances inférieures à celles des enfants normaux, qui eux, se rapprochaient des normes européennes.

Ces observations mettaient en évidence l'importance des dimensions corporelles et de la composition corporelle dans la réalisation des performances fonctionnelles d'enfants exposés à la malnutrition. Elles ne permettaient pas de supporter l'hypothèse d'une plus grande efficacité d'enfants de petite taille et dans une certaine mesure montrait que l'atteinte fonctionnelle était plus précoce et plus marquée que l'atteinte physique.

2-2-2) Motor skills of mild-malnourished compared with normal preschool Senegalese children.

E. Bénéfice, *Early Child Development and Care*, 1991, 61, 81-91.

Cette étude concerne la deuxième partie des tests qui étaient pratiqués sur l'échantillon précédent d'enfants d'âge présolaire. L'objectif était de rechercher l'existence des différences dans le développement moteur et les habiletés motrices en fonction de l'état nutritionnel.

Pour cela les enfants devaient accomplir une série d'épreuves testant leur équilibre statique et dynamique, leur coordination uni- et bi-manuelle, leur vitesse et leur précision. Ces épreuves étaient dérivées des batteries proposées par Hughes et Riley (1981) et Connolly (1979) pour évaluer les fonctions motrices. L'application en était prévue en fait pour des enfants âgés de 7 à 14 ans. Enfin ils accomplissaient 4 épreuves sportives: course de 20 m; force de serrage mesurée avec le dynamomètre de Martin; saut en longueur sans élan; lancer d'une balle de soft-ball.

L'analyse a montré que les performances des enfants progressaient régulièrement d'une visite à l'autre et que les enfants âgés réussissaient mieux que les plus jeunes. Les petits sénégalais ont été ensuite divisés en 4 groupes en fonction de leur stade de maigreur, indice "poids pour la taille" et leur retard de croissance, indice "taille pour l'âge". Ces groupes étant: enfants petits, enfants chétifs et maigres, enfants maigres, enfants normaux. Le seuil d'entrée dans ces catégories de malnutrition a été fixé à -0.5 écart-type. En fait les enfants se situaient en moyenne entre -1 et -1,5 score d'écart-type; le choix de ce seuil a été guidé par le souci d'avoir des effectifs équilibrés pour renforcer la puissance des tests statistiques et de ne considérer que l'effet de la malnutrition légère. Dans ces conditions, on pouvait constater que les enfants petits et "petits-et-maigres" réussissaient toujours moins bien que les enfants normaux ou seulement maigres sauf dans un test de coordination bi-manuelle.

Dans l'interprétation de ces résultats j'ai souligné le fait que cette étude ne permettait pas de conclure à une relation de cause à effet, mais que tout indiquait cependant que des facteurs nutritionnels pouvaient intervenir sur la motricité et ce à des degrés discrets de déficience. Le point important à mes yeux étant, que non seulement des fonctions impliquant l'usage de la force étaient altérées, ce qui peut s'expliquer par un déficit quantitatif musculaire, mais aussi des mécanismes sensibles de coordination et de régulation motrice, ce qui suggérerait la possibilité d'une atteinte neurologique supérieure. Il ne s'agit là d'une hypothèse qui devrait faire l'objet d'expérimentation plus précise pour être confirmée.

Il doit cependant être clair que ces enfants étaient tout à fait normaux au plan moteur et perçus comme tels par leurs proches. Le risque, s'il existait réellement, ne pourrait être défini qu'après une longue étude prospective sur le devenir d'enfants légèrement dénutris. Il n'en demeure pas moins vrai que le niveau de fonctionnement des enfants amaigris et avec retard de croissance était sub-optimal par rapport aux enfants normaux. Ce travail, comme le précédent ne supportait pas la théorie de l'absence de conséquences fonctionnelles dans la malnutrition chronique.

2-3) Aptitude physique et performances motrices d'enfants malnutris d'âge scolaire.

Physical activity and anthropometric and functional characteristics of mild malnourished Senegalese children.

E. Bénéfice. A paraître dans "Annals of Tropical Paediatrics. International Child Health". Vol 11, n°1, 1992.

Le groupe étudié était celui des enfants d'âge scolaire. Les hypothèses de départ et le but de l'étude étaient similaires à celles portant sur les enfants d'âge préscolaire: montrer que les modifications anthropométriques observées dans la malnutrition s'accompagnent également de modifications dans le domaine fonctionnel.

Les enfants étaient âgés de 9 à 14 ans, au nombre de 100, 46 garçons et 54 filles. Ils étaient originaires de 2 régions du Sénégal, le Centre dont était également issu l'échantillon de préscolaires et l'extrême nord du pays. A ce stade de l'analyse je n'ai pas observé de différences tenant à l'origine géographique et ethnique.

Les enfants subissaient un examen clinique, anthropométrique et spirométrique et accomplissaient 4 épreuves sportives (course, saut, lancer, serrage). Ensuite ils effectuaient une épreuve d'effort continue à charge progressive consistant en des montées de 3 escabeaux ayant respectivement des hauteurs de marche de 17, 23 et 30 cm. Ceci permettant un calcul de charge équivalent à une puissance de 1, 1,5 et 2 W.kg⁻¹ pour une fréquence de 30 pas par minute. Cette épreuve les amenait à dépasser la fréquence cardiaque de 170 battements par minute et pour faciliter les comparaisons, les résultats étaient exprimés pour une puissance atteinte à 170 battements.min⁻¹ (PWC 170). Enfin une étude de l'activité physique habituelle était faite par enregistrement des fréquences cardiaques chaque minute pendant au moins 6 heures.

Les valeurs des indices anthropométriques, des résultats de l'épreuve d'effort, des tests

Comparaisons Malnutris/Normaux

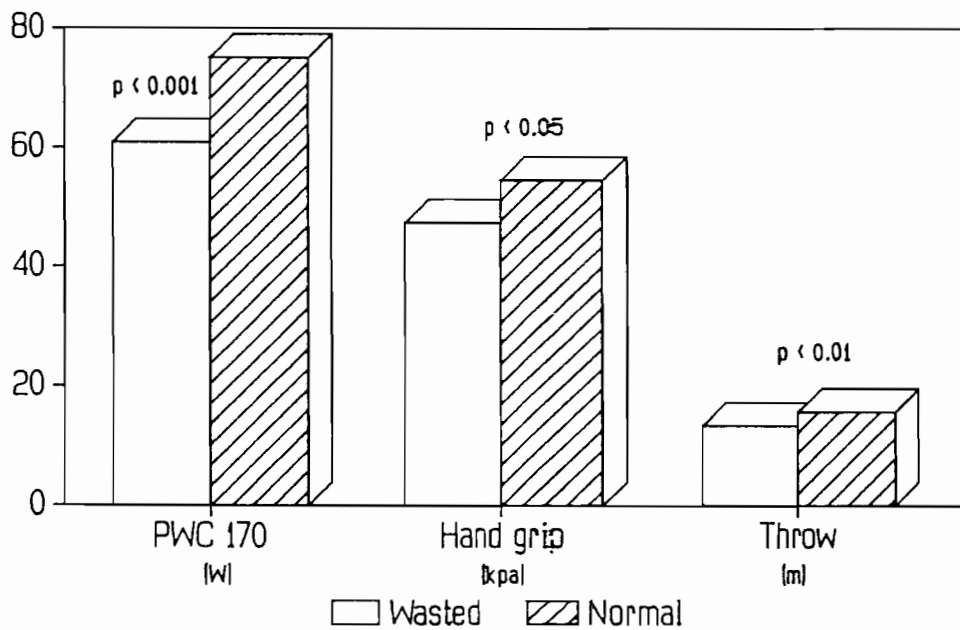
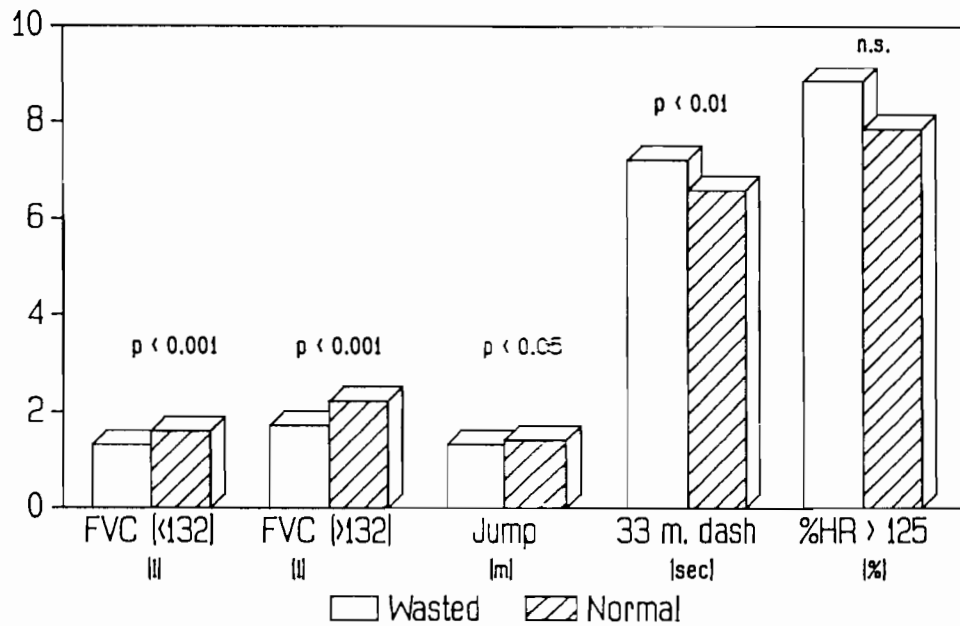


figure n° 11

spirométriques et moteurs étaient considérablement plus bas que celles observées chez des enfants européens ou américains de même âge et même sexe. Le retard de poids ou de taille pour l'âge étaient des prédicteurs significatifs des tests fonctionnels. Plus de 2/3 de ces enfants avaient un poids pour l'âge inférieur à -1 écart-type, lorsque l'on séparait ces enfants en 2 groupes, bien- et malnutri selon ce critère, on pouvait noter que le groupe bien-nutris réussissait toujours mieux que le groupe malnutri. L'analyse de l'activité physique par l'enregistrement continu du pouls montrait un niveau global d'intensité assez faible, les garçons les plus jeunes étant les plus actifs et les filles âgées les moins actives. Il n'y avait aucune corrélation entre l'activité et la valeur des performances physiques de même qu'entre activité et état nutritionnel..

Ces résultats confirment les observations précédentes faites sur des enfants plus jeunes quand au rôle limitant joué par la malnutrition sur les performances physique; ils indiquent indirectement une faible capacité aérobie et anaérobie de ces enfants; ils soulignent enfin la chronicité de la malnutrition au cours de toute la période de croissance. L'absence de corrélation entre activité, performances et état nutritionnel a été notée également dans la littérature pour ce groupe d'âge. Cela pourrait être du dans cette étude à la courte période d'observation et au fait que les activités des enfants n'étaient pas stimulées lors des enquêtes qui se sont déroulées ^{pendant} les récoltes. La question de savoir si le comportement peu actif de ces enfants est une conséquence de la malnutrition chronique reste posée.

CONCLUSION GENERALE.

Les travaux présentés sont une illustration des points qui ont été développés tout au long de cette étude: permanence des effets de la malnutrition au cours de la période de croissance physique qui est ralentie, effet négatif sur les performances motrices de l'enfant et sur sa capacité à soutenir un effort. Ces travaux n'ont pu bénéficier de méthodes perfectionnées qui auraient permis d'obtenir des données plus précises et plus standardisées. En dépit de cela, ce sont parmi les premiers effectués sur des enfants très jeunes et ils sont en tout cas pionniers pour l'Ouest africain où la prévalence de la malnutrition est l'une des plus forte du monde. Ils constituent donc une contribution modeste mais effective au problème du devenir fonctionnel de l'enfant dénutri.

Les résultats sont consistants dans le temps et pour des groupes d'âge et des sexes différents. Les liaisons statistiques sont fortes et il est hautement improbable que des biais dans la sélection des cas puissent les expliquer. La première conclusion qui s'impose est le rôle négatif joué par la malnutrition sur la croissance comme sur les capacités fonctionnelles de l'enfant. Une autre conclusion est que la nature par définition dynamique des épreuves d'effort permet de mettre en évidence des anomalies qui n'apparaissent pas dans le cadre normal de l'examen clinique et anthropométrique plus statique et, à ce titre, elles devraient pouvoir être intégrées au bilan nutritionnel habituel.

Cela ne signifie pas pour autant que la connaissance des relations entre capacités fonctionnelles et malnutrition soit suffisante. Beaucoup de problèmes ne sont pas résolus; les interrogations portent sur d'une part sur les mécanismes d'action et d'autre part sur le devenir fonctionnel des enfants affectés.

Au plan des mécanismes d'action, certains points précis centrés autour du problème de l'énergie et son utilisation, mériteraient une attention spéciale: utilisation des diverses filiales énergétiques; maintien des réserves en glycogène; efficacité de la glycolyse anaérobie. Les

régulations énergétiques et en particulier le contrôle thyroïdien ne sont pas bien connues alors que des interactions nutritionnelles, carence protéique, carence en fer, carence en iode, et non-nutritionnelles liées à l'environnement, hyperthermie, altitude, sont susceptibles de les modifier.

Au plan du devenir fonctionnel de l'enfant malnutri des opérations de recherche devraient être également poursuivies. L'activité physique a un rôle "structurant" et "formateur" et peut servir aussi de volant de réserve énergétique. Des relations entre dénutrition, activité physique et développement moteur et de l'aptitude physique existent mais elles sont davantage affirmées que démontrées; leur nature exacte semble très variable variable selon l'âge et l'état nutritionnel. Dans cet esprit, j'ai commencé à aborder plus systématiquement l'étude de l'activité physique et du bilan énergétique des enfants par l'étude longitudinale d'une cohorte de petits sénégalais de 10 à 12 ans, vivants en milieu rural. Il serait souhaitable de l'étendre à des groupes d'enfants plus jeunes afin de mieux analyser le développement de leurs habiletés motrices. Enfin, d'un point de vue appliqué le problème de l'effort et de l'activité dirigés vers des tâches productives a fait l'objet de quelques rares études sociologiques (Defossez, 1990) ou anthropologiques (Munroe et al, 1984) mais est totalement ignoré par les pédiatres ou les physiologistes du travail alors qu'il concerne une part énorme des enfants du tiers monde.

REFERENCES

- Acheson K., Campbell I., Edholm O., Miller D. and Stock M. (1980). The measurement of daily energy expenditure - an evaluation of some techniques. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 1155-1164.
- Areskog N. (1971). Short-time exercise and nutritional status in ethiopian boys and young males. *Acta Paediat. Scan. Suppl.* 217:138-141.
- Astrand P-O. and Ryhming I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.* 7: 218-221.
- Astrand I. (1960). Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand. (Suppl. 169):* 1-92.
- Astrand P. et Rodahl K. (1978). *Manuel de physiologie de l'exercice musculaire*, ed. 3. Lacour J. (traducteur), Masson: Paris.
- Banerjee B. and Saha N. (1970). Energy cost of some common daily activities of active tropical male and female subjects. *J. Appl. Physiol.* 29: 200-203.
- Barac-Nieto M., Spurr G., Dahners H. and Maksud M. (1980). Aerobic work capacity and endurance during nutritional repletion of severely undernourished men. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 2268-2275.
- Barac-Nieto M., Spurr G., and Reina J. (1984). Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: body composition and maximal O₂ consumption. *Am. J. Clin. Nutr.* 39: 830-839.
- Bar-Or O. (1987). *Médecine du sport chez l'enfant*. Duizabo, J. (trans). Masson: Paris.
- Baylet R., Benefice E., Gensac A. et Payret M. (1983). Analyse de données anthropométriques (poids-taille) recueillies à partir d'une enquête transversale sur des enfants de 5-6 ans habitant dans les Pyrénées Occidentales. *Rev. Française Santé Pub.* 20: 32-46.
- Bénéfice E, Chevassus-Agnès S. and Barral H. (1984). Nutritional situation and seasonal variations for pastoralist populations of the Sahel (Senegalese Ferlo). *Ecol. Food Nutr.* 14: 229-247.
- Bénéfice E. et Chevassus-Agnès S. (1985). Variations anthropométriques saisonnières des adultes appartenant à deux populations différentes de l'Afrique de l'Ouest. *Rev. Epidem. et Santé Publ.* 33: 150-160.
- Bénéfice E., Chevassus-Agnès S., Simondon F. et N'Diaye A.M. (1986). Aménagements agricoles et aspects nutritionnel: études de populations rurales du Ferlo et de la Moyenne vallée du fleuve Sénégal. in: Lemonnier D. et Ingenbleek Y. (eds.). *Les malnutritions dans les pays du tiers monde*. Colloque INSERM, Vol. 136, pp 531-538.
- Bénéfice E., Barral H. et Romo-Nunez Z. (1989). Ecologie de la santé et de la nutrition en Amazonie équatorienne. II.- Les colons de la zone pétrolière. *Bull. Soc. Path. Ex.* 82: 544-557.
- Bénéfice E., Mercier J., Guérin M.J. and Préfaut CH. (1990). Differences in Aerobic and Anthropometric characteristics between peripubertal swimmers and non-swimmers. *Int. J.*

Sports Med. 11: 456-460.

Bleiberg F., Brun T., Goihman S. and Lippman D. (1981). Food intake and energy expenditure of male and female farmers from Upper-Volta. *Br. J. Nutr.* 45: 505-515.

Bhatia, D., and Seshadri, S. (1987). Anemia, undernutrition and physical work capacity of young boys. *Indian Pediatrics* 24: 123-138.

Brown K., Black R., Becker S. (1982). Seasonal changes in nutritional status and the prevalence of malnutrition in a longitudinal study of young children in rural Bangladesh. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 303-313.

Brun T., Bleiberg F. and Goihman S. (1981). Energy expenditure of male farmers un dry and rainy seasons in Upper-Volta. *Br. J. Nutr.* 45: 67-75.

Buzina R., Bates C., Van der Beek J. (1989). Workshop on functional significance of mild-to-moderate malnutrition. 50: 172-176.

Chatard J., Lavoie J. and Lacour J. (1990). Analysis of determinant of swimming economy in front crawl. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61: 88-92.

Chavez A. et Martinez C. (1979). *Nutricion y desarrollo infantil*. Nueva Editorial Interamericana: Mexico.

Collins K. (1982). energy expenditure, productivity and endemic disease. in: Harrisson G. (ed.). *Energy and Effort*. Symposia of the society for the study of Human biology, vol 22. Taylor & Francis, London, pp 65-84.

Cotes J. and Davies C. (1969). Factors underlying the capacity for exercise: a study in physiological anthropometry. *Proc. Roy. Soc. Med.* 62: 620-624.

Curran-Everett L., Little M and Pendergast D. (1991). Accordance between biological and cultural work-related variables in Nomadic Ngisonyoka Turkana pastoralists.(Abstr.). *Am. J. Phys. Anthropol.* (suppl 12): 64.

Dahners H., Schmidt W., Reina J. and Spurr G. (1990). Blood oxygen transport in marginally undernourished school-aged Colombian children. *Nutr. Res.* 10: 503-514.

Dallman P. and Schwartz H. (1965). Distribution of cytochrome C and myoglobine in rats with dietary iron deficiency. *Pediatrics* 35: 677-686.

Davies C., Barnes C., Fox R., Ojikutu O. and Samueloff A. (1972). Ethnic difference in physical working capacity. *J. Appl. Physiol.* 33: 726-732.

Davies C. (1973). Physiological responses to exercise in East African children. I Normal values for rural and urban boys and girls aged 7-15 years. *Env. Child Health* 19: 110-114.

Davies C. (1973). Physiological responses to exercise in East African children. II The effects of shistosomiasis, anaemia and malnutrition. *Env. Child Health* 19: 115-119.

Defossez A. (1990). *Le travail des enfants: débuts dans la vie active et stratégies familiales de reproduction à Quito, Equateur*. In: Fassin D. et Jaffré Y. (eds.). *Sociétés, développement et Santé*. Ellipses: Paris, pp 167-178.

Desai I., Garcia tavarès M., Dutra de Oliveira B., Desai M., Cevallos Romero L., Vichi F., Duarte F. and Dutra de Oliveira, J. (1981). Anthropometric and cycloergometric assessment of the nutritional status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 1925-1934.

Desai I., Waddell C., Dutra de Oliveira B., Duarte F., Robazzi M., Cevallos Romero L., Desai M., Vichi F., Bradfield R. and Dutra de Oliveira J. (1984). Marginal malnutrition and reduced physical work capacity of migrant adolescent boys in Southern Brazil. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 135-145.

Di Prampero P. and Cerretelli P. (1969). Maximal muscular power (aerobic and anaerobic) in African natives. *Ergonomics* 12: 51-59.

Dulloo A. and Girardier L. (1990). Adaptative changes in energy expenditure during refeeding following low-calorie: evidence for a specific metabolic component favoring fat storage. *Am. J. Clin. Nutr.* 52: 415-420.

Edholm O., Adam J., Healy M., Wolff H., Goldsmith R. and Best T. (1970). Food intake and energy expenditure of army recruit. *Br. J. Nutr.* 24: 1091-1107.

Edmunston W. (1977). Individual variations in work output per unit energy intake in East Java. *Ecol. Food Nutr.* 6: 147-151.

Eriksson B., Gollnick P., Saltin B. (1974). The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. *Acta Paediatr. Belg.*, 28 (suppl.): 245-252.

Eriksson B. (1980). Muscle metabolism in children- a review. *Acta Paediatr. Scand. Suppl.* 283: 20-27.

Eveleth P. (1979). Population differences in growth: environmental and genetic factors. In: Falkner F. and Tanner J. (eds.). *Human growth. 3- Neurobiology and Nutrition*. Plenum Press: New York, pp 373-394.

Farthing M., Mata L., Urratia J., Kronmal R. (1986). Natural history of *Giardia* infection of infants and children in rural Guatemala and its impact on physical growth. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 395-405.

Ferro-Luzzi A., D' Amicis A., Ferrini A., and Maiale G. (1979). Nutrition, Environment and physical performance of preschool children in Italy. In: Somogyi, J., and de Wijn, J. (eds.). *Nutritional aspects of physical performance*. Basel: Karger, *Bibliotheca Nutr. Dieta.* vol 27, pp. 85-106.

Ferro-Luzzi A. (1982). Meaning and constraints of energy intake studies in free-living populations. In: Harrison G. (ed.). *Energy and effort. Symposia of the society for the study of human biology*, vol 22. Taylor & Francis: London, pp 115-137.

Ferro-Luzzi A., Pastore G. and Sette S. (1987). Seasonality in energy metabolism. In: Schürch B. and Scrimshaw S. (eds.). *Chronic energy deficiency: consequences and related issues*. IDECG meeting August 3-7, 1987 held in Guatemala City. Nestlé Foundation: Lausanne, pp 37-58.

Ferro-Luzzi A. (1988). Marginal energy malnutrition: some speculations on primary energy sparing mechanisms. In: Collins K. and Roberts D. (eds.). *Capacity for work in the tropics*.

Cambridge University Press: Cambridge. pp 141-164.

Finch C., Gollnick P., Hlastala M., Miller L., Diilman E., Mackler B. (1979). Lactic acidosis as a result of iron deficiency. *J. Clin. Invest.* 64: 129-137.

Floud R. (1989). Changes in the mean stature of the British male population, 1750-1912. In: Tanner J. (eds.). *Auxology 88, Perspectives in the science of growth and development*. Smith-Gordon: London, 167-173.

Friis-Hansen B. (1971). Body composition during growth. *Pediatrics* 47: 264-274.

Frisancho, A. (1990). Introduction to Symposium: Comparative high-altitude adaptation. *Am. J. Hum. Biol.* 2: 599-601.

Garenne M., Maire B., Fontaine O., Dieng K., and Briend A. (1987). Risques de décès associés à différents états nutritionnels chez l'enfant d'âge préscolaire. Dakar: ORSTOM.

Garn S. (1987). The secular trend in size and maturational timing and its implications for nutritional assessment. *J. Nutr.* 117: 817-823.

Ghesquière J. and Karvonen M. (1981). Some anthropometric and functional dimensions of the pygmy (Kivu Twa). *Annals of Human Biology* 8: 119-134.

Ghesquière J. and Eeckels R. (1984). Health, Physical development of primary school children in Kingshasa. In: Illmarinen J. and Välimäki I. (eds.). *Children and Sport*. Berlin: Springer Verlag, pp. 18-30.

Ghesquière J. and D'Hulst C. (1988). Growth, stature and fitness of children in tropical areas. In: Collins K. and Roberts D. (eds.). *Capacity for work in the tropics*. Cambridge University Press: Cambridge, pp 165-179.

Golden M., Waterlow J. and Picou D. (1977). Protein turnover, synthesis and breakdown before and after recovery from protein-energy malnutrition. *Clin. Sci. Mol. Med.* 53: 473-477.

Greulich W. (1957). A comparison of physical growth and development of American-born and native Japanese children. *Am. J. Phys. Anthropol.* 45: 553.

Guérin M. (1987). Aptitude physique, maturité pubertaire chez les enfants âgés de 11 à 15 ans. Mémoire DEA, Université Montpellier I.

Gutin B., Bash C., Shea S., Contento L., Delozier M., Rips J., Irigoyen M., Zybert P. (1990). Blood pressure, fitness, and fatness in 5- and 6- year-old children. *JAMA* 264: 1123-1127.

Habicht J., Martorell R., Yarbrough C., Malina R., Klein R. (1974). Height and weight standards for preschool children. How relevant are ethnic differences in growth potential? *Lancet*, i, 611-6615.

Hamill P., Drizd T., Johnson C., Reed R., Roche A. and Moore W. (1979). Physical growth: National Center for Health Statistics percentiles. *Am. Clin. Nutr.* 32: 607-629.

Haviland W. (1967). Stature at Tikal, Guatemala: Implications for Ancient Maya demography and social organization. *American Antiquity* 32: 316-325.

Heymsfield S., Bethel R. and Ansley J. (1978). Cardiac abnormalities in cachectic patients

before and during nutritional repletion. *Am. Heart J.* 95: 584-594.

Henriksson J. (1990). The possible role of skeletal muscle in the adaptation to periods of energy deficiency. *Eur. J. Clin. Nutr.* 44 (suppl. 1): 55-64.

Hori S. (1987). Natural acclimatization in hot environment. In: Shiraki K. and Yousef M. (eds.). *Man in stressful environment: thermal and work physiology*. Thomas C: Springfield, Illinois, pp 153-167.

Huizinga J. (1988). Working capacity in different african groups. In: Collins K. and Roberts D. (eds.). *Capacity for work in the tropics*. Cambridge University Press: Cambridge, pp 193-203.

Immink M., Flores R., Viteri F. and Sibrian R. (1987). Body composition of Guatemalan Sugarcane cutters, worker productivity and different work setting and conditions. *Hum. Biol.* 59: 827-836.

Inbar O. and Bar-Or O. (1986). Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 264-269.

James W. (1987). Research relating to energy adaptation in man. In: Schürch B. and Scrimshaw S. (eds.). *Chronic energy deficiency: consequences and related issues*. IDECG meeting August 3-7, 1987 held in Guatemala City. Nestlé Foundation: Lausanne, pp 7-36.

Jeejeebhoy K. (1986). Muscle function and nutrition. *Gut* 27, S1: 25-39.

Jelliffe D. (1959). Protein-Calorie malnutrition in tropic pre-school children: a review of recent knowledge. *J. Pediat.* 54: 277-287.

Jelliffe D. and Jelliffe E. (1989). *Community nutritional assessment*. Oxford University Press: Oxford, pp 273-292.

Jockl E. (1963). Physical activity and body composition: fitness and fatness. *Annals of New York Academy of Sciences.* 110: 778-791.

Kannel W. and Dawber T. (1972). Atherosclerosis as a paediatric problem. *J. Pediat.* 80: 544-554.

Keller W. (1988). The epidemiology of stunting. In: Waterlow J (ed.). *Linear growth retardation in less developed countries*. Nestlé Nutrition Workshop series, vol 14. New York: Raven Press, pp 17-34.

Kemper H. (1985). Growth, health and fitness of teenagers. in Kemper H. (ed.). *Longitudinal research in international perspective*. *Medicine and Sport Science*, vol 20, Karger: Basel.

Kennedy N., Badaloo A. and Jackson A. (1990). Adaptation to a marginal intake of energy in young children. *Brit. J. Nutr.* 63: 145-154.

Klissouras V., Pirnay F. and Petit J. (1973). Adaptation to maximal effort: genetics and age. *J. Appl. Physiol.* 35: 288-293.

Kobayashi K., Kitamura K., Miura M., Sodeyama H., Murase Y., Miyashita M. and Matsui H. (1978). Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 44: 666-672.

Keys A., Brozek J., Henschel A., Mickelsen O. and Taylor H. (1950). *Biology of human starvation*. University of Minnesota Press: Minneapolis.

Lange-Andersen K., Bolstadt K., Loyming Y. et Irving L. (1960). Physical fitness of arctic Indians. *J. Appl. Physiol.* 15: 645-648.

Lange Andersen K., Shephard R., Denolin H., Varnauskas E. and Masironi R. (1971). *Les épreuves d'effort: principes fondamentaux*. Organisation Mondiale de la Santé: Genève.

Lange Andersen K. (1971). The effect of altitude variation on the physical performance capacity of Ethiopian men. In: Voster R. (ed.). *Human biology and environmental changes*. PBI: Malawy, pp 153-154.

La Porte R., Cauley J., Kinsey C., Corbett W., Robertson R., Black-Sandler R., Kuller L. and Falkel J. (1982). The epidemiology of physical activity in children, college students, middle-aged men, menopausal females and monkeys. *J. Chron. Dis.* 35: 787-795.

Lopes J., Russell D., Whitwell J. and Jeejeebhoy K. (1982). Skeletal muscle function in malnutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 602-610.

Malina R., Bushang P. (1985). Growth, strength and motor performance of Zapotec children, Oaxaca, Mexico. *Human Bio.* 57: 163-181.

Malina R., Little B., Shoup R. and Bushang P. (1987). Adaptive significance of small body size: strength and motor performance of school children in Mexico and Papua New Guinea. *Am. J. Phys. Anthropol.* 73: 489-499.

Margen S. (1984). Energy-protein malnutrition: the web of causes and consequences. In: Brozek J. and Schürch B. (eds.). *Malnutrition and Behavior*. Nestlé Foundation Publication Series, vol 4. Lausanne, pp 20-31.

Martorell R. (1985). Child growth retardation: a discussion of its causes and its relationship to health. In: Blaxter K. and Waterlow J. (eds.). *Nutritional adaptation in man*. John Libbey: London, pp 13-29.

Martorell R. and Arroyave G. (1988). Malnutrition, work output and energy needs. In: Collins K. and Roberts D. (eds.). *Capacity for work in the tropics*. Cambridge University Press: Cambridge, pp 57-75.

Martorell R. (1989). Body size, adaptation and function. *Human Organization* 48: 15-20.

McArdle, W., Katch, F., and Katch, V. (1987). *Physiologie de l'activité physique*. Nadeau, M. (trans.). Paris: Vigot, pp. 455-478.

Melton T., Ahn Y. and Eckhardt. (1991). Thoracic development at high and low altitude provides confirmatory evidence for the existence of genetic factors influencing adaptation to high altitude in South America. (Abstract). *Am. J. Hum. Biol.* 3: 66.

Mercier J., Vago P., Ramonaxto M., Bauer C. and Préfaut C. (1987). Effect of aerobic training quantity on the VO₂ max of circumpubertal swimmers. *Int. J. Sports Med.* 8: 26-30.

Messer E. (1986). The "small but healthy" hypothesis: historical, political, and ecological influences on nutritional standards. *Hum. Ecol.* 14: 57-75.

Mercier B., Mercier J., Granier P. and Préfaut Ch. (1991). Maximal anaerobic power: relationship to anthropometric characteristics during growth period. *Int. J. Sport Med.* (sous presse).

Mulligan K. and Butterfield G. (1990). Discrepancies between energy intake and expenditure in physically active women. *Brit. J. Nutr.* 64: 23-36.

Mukherjee A., Dey T. and Bhattacharyya A. (1982). Cardiac pathology in classical marasmus and marasmic kwashiorkor. *Indian J. Pathol. Microbiol.* 25: 207-212.

Munroe R.H., Munroe R.L. and Shimmin H. (1984). Children's work in four cultures: determinants and consequences. *Am. Anthropol.* 86: 369-379.

Norgan N., Ferro-luzzi A. and Durnin J. (1974). The energy and nutrient intake and the energy expenditure of 204 New Guinean adults. *Phil. Trans. Roy. Soc. B*, 268: 309-348.

Nutter D., Murray T., Heymsfield S. and Fuller E. (1979). The effect of chronic protein-calorie undernutrition in the rat on myocardial function and cardiac function. *Circ. Res.* 45: 144-152.

O.M.S. (1983). *Mesure des modifications de l'état nutritionnel.* Organisation Mondiale de la santé: Genève.

Panter-Brick C. (1987). *Subsistence work and motherhood in Salme, Nepal.* Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Oxford University.

Pařízková J. (1974). Interrelationships between body size, body composition and function. In: Roche A. and Falkner F. (eds.). *Advances in experimental medicine and biology*, vol 49. Nutrition and malnutrition. New York: Raven Press, pp. 119-149.

Pařízková J. (1984). *Growth, fitness and nutrition in preschool children.* Prague: Charles University, pp 1-132.

Pařízková J. (1987). Growth, functional capacity and physical fitness in normal and malnourished children. In: Bourne G. (ed.). *International nutrition in health and disease.* Basel: Karger, *Wld. Rev. Nut. Diet.* vol 51, pp 1-44.

Pasquet P. (1988). *La capacité de travail des Koma du Nord Cameroun.* *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris* 5, XIV: 107-116.

Pate R. and Shephard R. (1989). Characteristics of physical fitness in youth. In: Gisolfi C. and Lamb D. (eds.). *Perspectives in exercise science and sports medicine.* Vol 2. Youth, exercise and Sport. Benchmark Press: Indianapolis, pp 1-43.

Pérusse L., Tremblay A., Leblanc C. and Bouchard C. (1989). Genetic and environmental influences on level of habitual physical activity and exercise participation. *Am. J. Epidemiol.* 129: 1012-1022.

Rodahl K., Astrand P-O., Birkhead N., Hettinger T., Issekutz B., Jones D. and Weaver R. (1961). Physical work capacity: a study of some children and young adults in the United States. *Arch. Env. Health* 2: 499-510.

Rode A. et Shephard R. (1984). Ten years of "civilization": fitness of Canadian Inuit. *J. Appl.*

Physiol. 56: 1472-1477.

Rowell L. (1987). Cardiovascular adjustments to hyperthermia and exercise. In: Shiraki K. and Yousef M. *Man in stressful environment: thermal and work physiology*. Thomas C: Springfield, Illinois. pp 99-113.

Russell D., Leiter L., Whitwell J., Marliss E. and Jeejeebhoy K. (1983). Skeletal muscle function during hypocaloric diets and fasting: a comparison with standard nutritional assessment parameters. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 133-138.

Rutishauser I. and Whitehead R. (1972). Energy intake and expenditure in 1-3 year old Ugandan children living in a rural environment. *Br. J. Nutr.* 28: 145-152.

Samueloff S. (1987). Thermoregulatory responses in genetically different ethnic groups. In: Shiraki K. and Yousef M. *Man in stressful environment: thermal and work physiology*. Thomas C: Springfield, Illinois. pp 23-34.

Satyanarayana K., Nadamuni Naidu A. and Narasinga Rao B. (1977). Body size and work output. *Am. J. Clin. Nutr.* 30: 322-325.

Satyanarayana K., Nadamuni Naidu A. and Narasinga Rao B. (1979). Nutritional deprivation in childhood and the body size, activity, and the physical work capacity of young boys. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 1769-1775.

Schultink W., Klaver W., Van Wijk H., Van Raaij J. and Hautvast J. (1990). Body weight changes and basal metabolic rates of rural Beninese women during seasons with different energy intakes. *Eur. J. Clin. Nutr.* 44 (suppl. 1): 31-40.

Seckler D. (1980). Malnutrition: an intellectual odyssey. *Western J. Agri. Economics* 5: 219-227.

Shephard R. (1971). The working capacity of school children. In: Shephard R. (ed.). *Frontiers of fitness*. Charles Thomas: Springfield, pp 319-344.

Shephard R. (1986). *Fitness of a nation. Lessons from the Canada fitness survey*. Karger: Basel.

Shephard R. (1988). Work capacity: methodology in a tropical environment. In: Collins K. and Roberts D. (eds.). *Capacity for work in the tropics*. Cambridge University Press: Cambridge, pp 1-30.

Shizgal H., Vasilevsky C., Gardiner P., Wang W., Tuitt D. and Brabant G. (1986). Nutritional assessment and skeletal muscle function. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 761-771.

Smythe P., Swanepoel A. and Campbell J. (1962). The heart in kwashiorkor. *Brit Med J.* 1: 67-73.

Spady D. (1980). Total daily energy expenditure of healthy, free ranging school children. *Am. J. Clin. Nutr.* 33: 766-775.

Spurr G., Barac-Nieto M. and Maskud M. (1979). Functional assessment of nutritional status: heart rate response to submaximal work. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 767-778.

Spurr G., Reina J., Dahners H. and Barac Nieto M. (1983). Marginal malnutrition in school-

aged colombian boys : functional consequences in maximum exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 119-132.

Spurr G., Barac Nieto M., Reina J. and Ramirez R. (1984). Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: efficiency of treadmill walking in submaximal exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 39: 452-459.

Spurr G., Reina J. and Barac-Nieto M. (1986). Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: metabolic rate and estimated daily energy expenditure. *Am. J. Clin. Nutr.* 44: 113-126.

Spurr G. and Reina J (1987). Marginal malnutrition in school-aged Colombian girls: dietary intervention and daily energy expenditure. *Hum. Nut. Clin. Nutr.* 41C: 93-104.

Spurr G. (1988 a). Body size, physical work capacity, and productivity in hard work: is bigger better? In: Waterlow J, ed. Linear growth retardation in less developed countries. Nestlé Nutrition Workshop series vol 14. Raven Press: New York, pp 215-243.

Spurr G. and Reina J. (1988 b). Patterns of daily energy expenditure in normal and marginally undernourished school-aged Colombian children. *Eur. J. Clin. Nutr.* 42: 819-834.

Statgé P. et Voyer M. (1974). La malnutrition protéino-énergétique en zone tropicale. *Rev. Ped.* 10: 379-386.

Steckel R. (1989). Heights and health in the United States, 1710-1950. In: Tanner J. (eds.). *Auxology 88, Perspectives in the science of growth and development.* Smith & Gordon: London, 175-185.

Stini W. (1972). Reduced sexual dimorphism in upper arm muscle circumference associated with protein-deficient diet in a South American population. *Am. J. Phys. Anthropol.* 36: 341-352.

Sukhatme P. and Margen S. (1978). Models for protein deficiency. *Am. J. Clin. Nutr.* 31: 1237-1256.

Sukhatme P. and Margen S. (1982). Autoregulatory homeostatic nature of energy balance. *Am. J. Clin. Nutr.* 35: 355-365.

Suskind R., Murthy K. and Suskind R.M. (1990). The malnourished child: an overview. In: Suskind R. and Lewinter-Suskind L. (eds.). *The malnourished child, Nestlé Nutrition Workshop Series, vol 19.* Raven Press: New York, pp 1-22.

Talbot F. (1921). Severe infantile malnutrition: the energy metabolism with the report of a new series of cases. *Am. J. Dis. Child.* 22: 358-370.

Talner N. (1990). Cardiac changes in the malnourished child. In: Suskind R. and Lewinter-Suskind L. (eds.). *The malnourished child, Nestlé Nutrition Workshop Series, vol 19.* Raven Press: New York, pp 229-244.

Tanner J. (1976). Growth as a monitor of nutritional status. *Proc. Nutr. Soc.* 35: 315-322.

Tanner J. (1986). Physical development. *Brit. Med. Bull.* 42: 131-138.

Taren D., Nesheim M., Crompton D., Holland C., Barbeau I., Rivera G., Sanjur D., Tiffany J.

- and Tucker C. (1987). Contributions of ascariasis to poor nutritional status in children from Chiriqui province, Republic of Panama. *Parasitology* 95: 603-613.
- Taylor W. and Baranowski T. (1991). Physical activity, cardiovascular fitness, and adiposity in children. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 62: 1-7.
- Teller Ch., Sibrian R., Talavera C., Bent V., Del Canto J. and Saenz L. (1979). Population and nutrition: implications of sociodemographic trends and differentials for food and nutrition policy in Central America and Panama. *Ecol. Food Nutr.* 8: 95-109.
- Thomson M. (1954). A comparison between the number and distribution of functioning eccrine sweat glands in Europeans and Africans. *J. Physiol (London)* 123: 225-233.
- Tobias P. and Netscher D. (1976). Evidence from African Negro skeletons for a reversal of the usual secular trend. *J. Anat.* 121: 435.
- Torun B. (1989). Short and long-term effect of low restricted energy intakes on the activity of infants and children. In: Schürch B. and Scrimshaw N. (eds.). *Activity, energy expenditure and energy requirements of infants and children. Proceedings of an IDECG workshop held in Cambridge, November 14 to 17, 1989.* Nestlé Foundation: Lausanne, pp 335-358.
- Trémolières J., Péquignot G., Bonfils S. et Derache R. (1950). Remarques sur les méthodes employées pour apprécier un état de nutrition. *Ann. Nutr. Ali.* 4: 321-357.
- Vago P., Mercier J., Ramonaxto M. and Préfaut Ch. (1987). Is ventilatory anaerobic threshold a good index of endurance capacity? *Int. J. Sports Med.* 8: 190-195.
- Videler J. and Nolet B. (1990). Costs of swimming measured at optimum speed: scale effects, differences between swimming styles, taxonomic groups and submerged and surface swimming. *Comp. Biochem. Physiol.* 97A: 91-99.
- Viteri F. and Torun B. (1974). Anaemia and physical work capacity. *Clin. Haematol.* 3: 609-626.
- Viteri F. and Torun B. (1980). Protein-calorie malnutrition. In: Goodhart R. and Shils M. (eds.). *Modern Nutrition in health and disease.* 6th ed. Lea & Febiger: Philadelphia, pp 697-720.
- Viteri F., Torun B., Immink M. and Florès R. (1981). Marginal malnutrition and working capacity. In: *Nutrition in health and disease and international development: Symposia from the XII International Congress of Nutrition.* Alan Riss: New York, pp 277-283.
- Viteri F. (1982). Nutrition and work performance. In: Scrimshaw N. and Wallerstein M. (eds.). *Nutrition policy implementation: Issues and experience.* Plenum Press: New York, pp 3-13.
- Walker S. and Golden M. (1988). Growth in length of children recovering from severe malnutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 42: 395-404.
- Walker A. and Walker B. (1990). Functional significance of mild-to-moderate malnutrition (letter). *Am. J. Clin. Nutr.* 52: 178-179.
- Warrier R., Dole M., Warrier J. and Suskind R. (1990). The anemia of malnutrition. In: Suskind R. and Lewinter-Suskind L. (eds.). *The malnourished child,* Nestlé Nutrition

Workshop Series, vol 19. Raven Press: New York, pp 61-72.

Waterlow J. (1985). What do we mean by adaptation? In: Blaxter K. and Waterlow J. (eds.). Nutritional adaptation in man. John Libbey: London, pp 1-11.

Waterlow J. (1986). Metabolic adaptation to low intakes of energy and protein. *Ann. Rev. Nutr.* 6: 495-526.

Waterlow J. (1989). Energy-sparing mechanisms: reductions in body mass, BMR and activity: their relative importance and priority in undernourished infant and children. In: Schürch B. and Scrimshaw N. (eds.). Activity, energy expenditure and energy requirements of infants and children. Proceedings of an IDECG workshop held in Cambridge, November 14 to 17, 1989. Nestlé Foundation: Lausanne, pp 239-250.

Waterlow J. (1990). Nutritional adaptation in man: general introduction and concepts. *Am. J. Clin. Nutr.* 51: 259-263.

Wyndham C., Williams C., Bredell G. and Joffe A. (1963). Differences between ethnic groups in physical working capacity. *J. Appl. Physiol.* 18: 361-366.

Wyndham C., Strydom N., Morrisson J. (1966). The capacity for endurance effort of Bantu males of different tribes. *S. African J. Sci.* 62: 259-263.

Wilmore J. and McNamara J. (1974). Prevalence of coronary heart disease risk factors in boys, 8 to 12 years of age. *J. Pediatr.* 84: 527-533.

Wilson P., Paffenbarger R., Morris J. and Havlik R. (1986). Assessment methods for physical activity and physical fitness in population studies: report of a NHLBI workshop. *Am. Heart J.* 111: 1177-1192.

Wirth A., Trager E. and Scheele K. (1978). Cardiopulmonary adjustment and metabolic response to maximal and submaximal exercise of boys and girls at different stages of maturity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 29: 229-240.

Zumrawi F., Dimond H. and Waterlow J. (1987). Effects of infection on growth in Sudanese children. *Hum. Nutr: Clin. Nutr.* 41C: 453-461.

ANNEXES.

NUTRITIONAL SITUATION AND SEASONAL VARIATIONS FOR PASTORALIST POPULATIONS OF THE SAHEL (SENEGALESE FERLO)

ERIC BENEFICE, SIMON CHEVASSUS-AGNES
and HENRI BARRAL

Nutrition Section and Geography Section

*Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer,
Centre de Dakar-Hann, BP 1386, Dakar, Senegal*

(Received September 20, 1982; in final form September 15, 1983)

The nutritional status and food consumption of a population of herders in the Ferlo (Senegal) was studied during a complete seasonal cycle.

The Ferlo region is in the Sahelian climatic belt where a long dry season (nine to ten months) alternates with a brief humid season (two to three months). In the existing traditional livestock production system, these climatic variations have an impact first on the living conditions of these people but also on the nutritional status of the herders.

Food intakes are insufficient during the rains and one finds a deep nutritional depression during this period; whereas during the dry season, to the contrary, food intake is very good and the nutritional status definitely improves. In an average situation, there is a balance between the losses that occurred during the wet season and the gains at the beginning of the dry season. This balance is nevertheless very precarious. To insure food and nutritional security for the herders, activities must concentrate on seeking solutions that will not threaten their social organization or their lifestyle.

KEY WORDS: Nutritional survey; food consumption survey; Senegal; Ferlo; Sahel; herding; agropastoralism; seasonal variations; PEM; nutritional anaemia.

INTRODUCTION

The nutritional situation in the Sahel region is generally thought of as very precarious due to the recurrence of serious food crises. The most recent of these was in 1972. Studies carried out at the time showed a dramatic increase in malnutrition (Brun, 1974a; Brun and Kovess, 1974b; Seaman *et al.*, 1973) and in the need for nutritional aid in order to overcome the crises (Greene, 1974; Ndiaye, Pele and Bideau, 1973; Aall and Helsing, 1976). The occurrence of such famines is neither new nor exceptional in the Sahel region (Chastanet, 1982; Marchal, 1980). From 1858 to 1945 in the upper valley of the river Senegal, there have been five serious crises of more than eight months duration, 22 crises of three to eight months duration, and in total only 34 years out of 87 did not pose a serious problem of food shortage (Chastanet, 1982). In Upper Volta from 1908 to 1945 at least ten serious food shortages can be identified (Marchal, 1980). There is a vast spectrum ranging from long and drawn-out famines to food shortages of a few weeks. So great is the probability that a seasonal food crisis will occur that it could even be said that the people of the Sahel have included the risk of a food shortage in their agricultural planning (Chastanet, 1982).

Analyses (Annegers, 1973a; 1973b; Perisse, 1966) show that seasonal deficit in livestock is marked in the savannah regions of the Sudanic belt or the Sahelian steppes where the climate is dominated by the alternation of a rainy season, which becomes increasingly short the further north one goes, and a long dry season. This

deficit is manifested by a change in the nutritional state and in particular by a loss of weight amongst adults (McGregor, 1967; Gessain, 1978; Bleiberg, Brun and Goihman, 1980) during the rainy season, also the time of agricultural labour.

Given these conditions one may ask if an acceptable standard of life is possible in these regions and if the "logics of survival" elaborated by the indigenous population are still efficient. On the answer given to these questions depends the type of solution proposed to improve the situation. If one decides that these lands can be no other than places of misery and hopelessness, the most radical actions involving the desertion of villages and a massive exodus toward the town will always appear desirable and necessary from a human point of view. If, on the other hand, one decides that in spite of a hostile environment, the local population has been able to organise and manage their land in such a way as to be able to survive and develop there without destroying it, then proposed improvements should aim to maintain people in their milieu and to respect their cultural values.

The work presented here analyses the nutritional situation of a community of Fulani herdsmen from the Senegalese Ferlo faced with the risk of seasonal food shortages. It seeks to describe the nutritional consequences and the reactions generated as well as the developments foreseeable in the future. The study is based on clinical observations, haematological and anthropometric measurements and food consumption surveys at different periods between January, 1980, and June, 1981.

ECOLOGICAL AND CULTURAL SETTING

The region which is being studied is that of the north Ferlo (see map, Figure 1) which lies between 15°30 and 16°30 latitude north and 14°30 longitude west in the interior of the bend of the Senegal river. This region has a typically Sahelian climate with 80 percent of its annual rainfall occurring between August and September. The average annual rainfall recorded before the decade 1970 to 1980 placed this area between isohyete 500 mm in the south and 228 mm in the north.

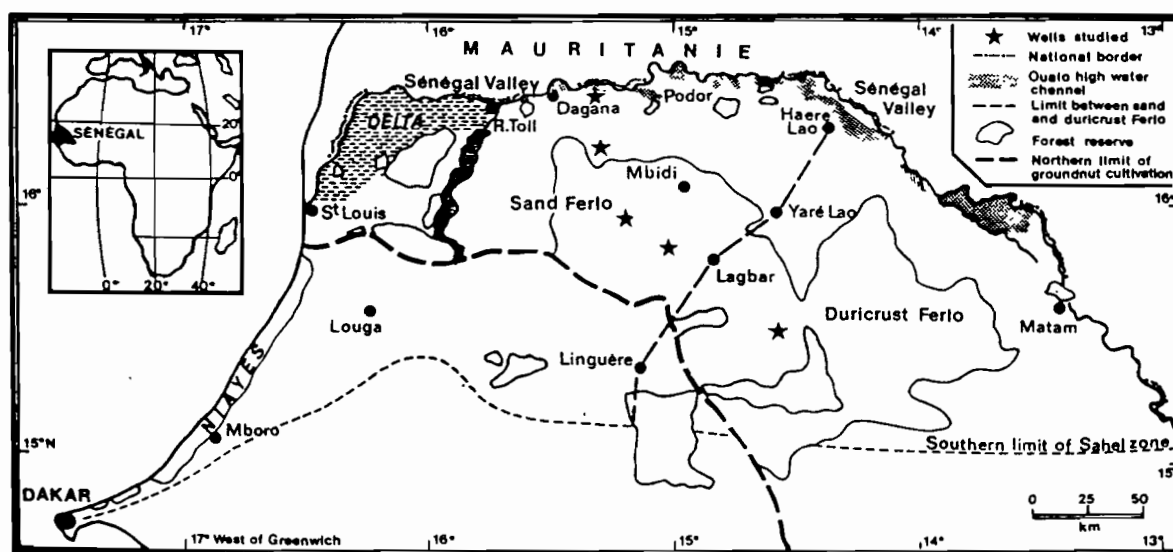


FIGURE 1 Map of the Ferlo (Senegal).

This region was without any permanent sources of water until deep wells were drilled in the 1940s after the discovery of the Maestrichtian water table more than 250 m below ground. It then consisted of a nomadic zone and cultivated fields in the wet season which had to be abandoned in the dry season for either the valley to the north of the river or for the Djolof region, which is situated between Louga and Linguère, to the south. This region was densely wooded, the vegetation forming a typical scrub savannah landscape and where a considerable number of wild animals were to be found.

The drilling of wells made it possible to stay permanently in the Ferlo region and for the huge pastures to be used continually. There has been a dramatic increase in livestock, a disappearance of the bigger wild animals, and then of the smaller ones, and the opening-up of the Savannah, making it more steppe-like. We are not, however, in the throes of a process of desertification but rather of "sahelianization" of the landscape, without that implying any quantitative or qualitative impoverishment of the grazing land (Barral, 1982). The animal best suited to herding is the Zebu, *Bos indicus*, from the *Gobra* species. Its introduction is believed to have coincided with the arrival of the first Fulani from the North-East to the Futa Toro (Valley of the Senegal river), possibly in the 5th or 6th century. This very hardy animal is able to adapt to the poor grazing land and long migrations, but its milk yield is mediocre.

With regard to human life, the arrival of wells has brought about the dispersal of the big encampments of former times for the defence against wild animals, and the increase in livestock makes necessary the use of new grazing lands.

Small groups spread out in the steppes and so the former authority diminishes whilst new forms of social grouping appear. But a more remarkable phenomenon is the reluctance of the population to settle in the locality of the wells. It is possible that the great seasonal migrations of former times have disappeared, reappearing only in exceptional circumstances like during the drought of 1972. Nevertheless a true nomadism, on a small scale, does exist—a "micronomadism," whose movements resemble those of the Fulani and the Kel Tamachek around the swamps of the Niger bend (Barral, 1977). This nomadism enables the continuation of a traditional pastoralism and thus of the Fulani culture in its most authentic form.

This region has a population of 30,000 and a density of less than three inhabitants per km². The dominant ethnic group is the Fulani: there are at least 35 different tribes but in practice only two can be distinguished, according to whether their former migrations were towards the Senegal valley, where they were complemented by the cultivation of flood plains, or whether they stopped on the edge of the Ferlo. All these groups are Islamic.

Pastoral production is carried out within the *Gallé*, which is the basic socio-economic unit. The *Gallé* is made up of the mono- or polygamous household of the head of the family and sometimes also by that of one of his brothers or of an elder son. This limited group comprises eight to ten people. Several *Gallés*, five at most, grouped together form an encampment. The *Gallé* collectively exploits and manages the same herd which is owned individually by its members or by outsiders (Santoir, 1982). The head of the *Gallé* is responsible for the herd.

Duties are allocated according to age and sex. It is the women's job to provide for the daily needs of the *Gallé*, for example, to cook, fetch the water, get the firewood, repair the huts. The small boys, sometimes only five years old, have the job of guarding the small ruminants. The older boys take the zebus out to the wells and the men and those approaching manhood have the job of looking after and guarding the big animals.

The activities of the herdsmen are determined by the rhythm of the climatic changes of the three main seasons in the year: a wet season (July to October); a cool, dry season (December to mid-march); and a hot, dry season (mid-March to June). During the wet season (see Figure 2) the herdsmen live in their encampment which consists at the time of large round semi-permanent huts built around ponds which fill up in the rainy season. This is the *Rumano*. The animals can graze in close proximity and the men can cultivate millet on site formerly used as a cattle enclosure, the land therefore has already been manured.

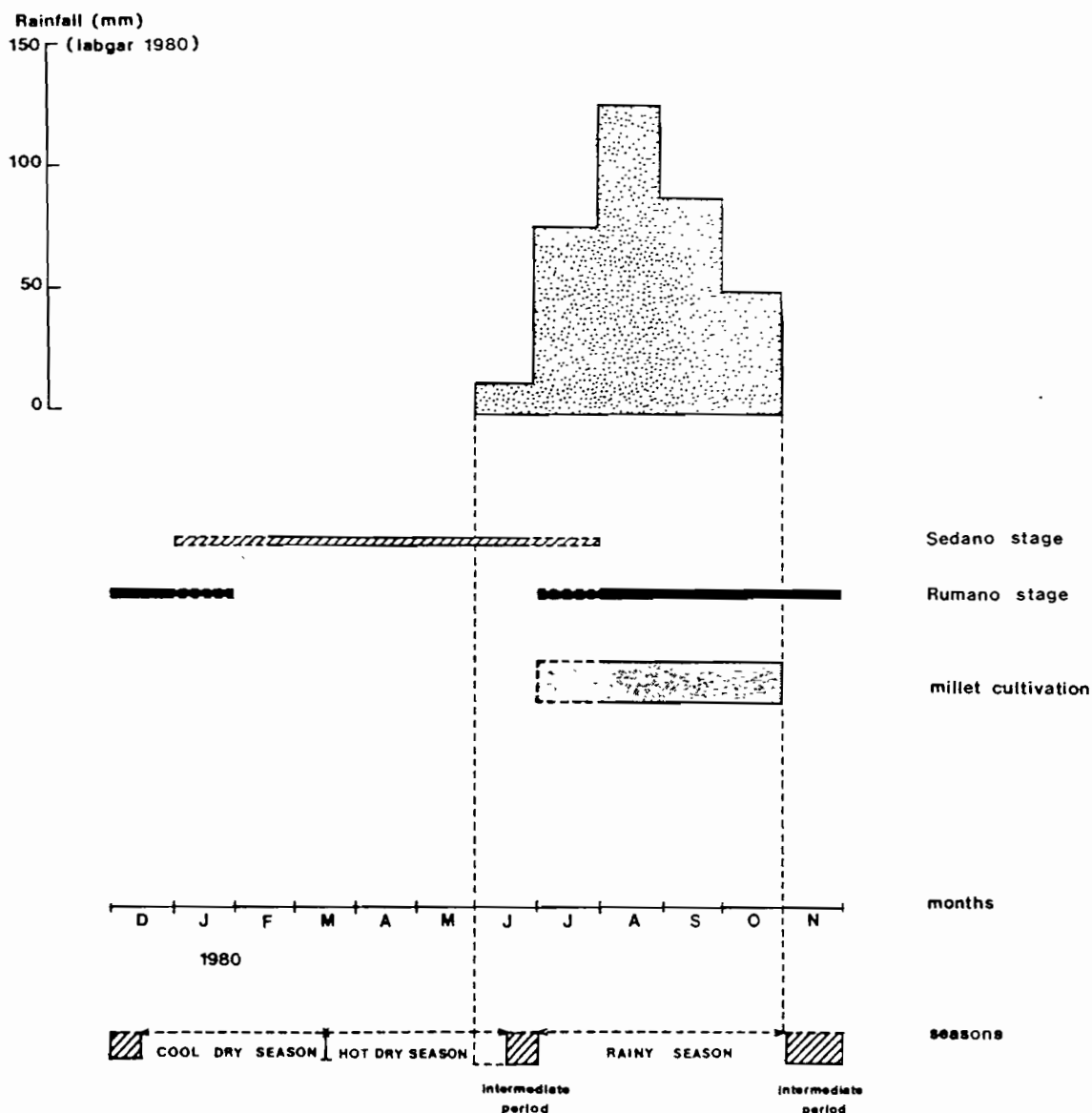


FIGURE 2 The seasonal cycle of agropastoralism in the Ferlo (Senegal).

This way of farming has tended to be abandoned since the 1972 drought. When the ponds dry up around October and November, the animals have to drink at the wells. Subsequently, the pastures between the *Rumano* and the well become exhausted and it is necessary to look for new ones. In order to insure that the new pastures are not too far from the encampment, the *Rumano* is abandoned toward the beginning of the cool, dry season, and the various *Gallés* of which it is comprised will continue their

nomadic activities either together or separately. This is the *Sedano* stage of nomadism. The Sedano is a temporary encampment made up of flimsy, almost spherical straw huts which can be dismantled when the time comes. It is usually erected on the edge of a wooded area whose branches and leaves can also be used as browsing for goats. The Sedano moves three or four times in the dry season depending on the availability of grazing land. In spite of this, the distances between the well, the Sedano and the grazing land become greater, and the animals only go to drink every other day once the hot season has begun. This trying situation continues right up until the rains begin. The return to the permanent encampment, the Rumano, takes place after the first rains when the ponds around which it is built are full of water again and the first of the grass is ready to be eaten.

Well sites are not a place of permanent residence for the herders. Apart from plentiful supplies of water it is possible to find there small shops which sell the basic essentials (millet, rice, oil, smoked fish, matches etc.). Certain wells are the site of weekly markets where transactions dealing in small ruminants take place and where women can find an outlet to sell milk products. Finally, it must be pointed out that there is practically no proper sanitation in this region.

CULTIVATION PATTERN

Millet and milk products are the staple foods of the herdsmen. Formerly the millet (*Pennisetum* spp. and *Sorghum vulgare*), came from several sources. Some of it was grown during the rainy season at the Rumano. The sorghum came from the cultivation of the flood plains in the river valley when the herds were moved in the dry season, and some of it could have been bartered from the non-nomadic population in exchange for milk products. A network of complex social relations presides over the use of the arable land and the practice of bartering. Because of this a very intricate and integrated economic structure exists between the zone of herdsmen and the zone of the cereal producers. Current development projects tend to channel the zones into specific production aims such as fattening of livestock or rice production or market gardening. This diversity of use of the millet, together with the rise of a monetary economy, causes these symbiotic relations to disappear, and so much so that the herdsmen are increasingly buying their millet with the proceeds of their livestock sales.

DIETARY PRACTICE AND COOKING METHODS

Millet has to be ground into flour, a tedious process which involved pounding, *vanning* (winnowing), hulling and washing. These chores are done by the women each morning. Some of the flour is used to make thick gruel, to which soured milk is added. It is eaten as the midday meal, when there is one. The remainder is put in a calabash and left in the shade. This flour is used in the evening by which time it should have begun to ferment, which in turn should have increased the riboflavin content (Tourey *et al.*, 1967). The flour is then kneaded by hand and steamed at once. The wife then adds powdered Baobab leaves (*Adansonia digitata*), whose stickiness gives the millet a semolina-like consistency (Tourey *et al.*, 1961).

After several cookings, the couscous is ready. Half of it is eaten in the evening with fresh milk, the other half is kept for the first meal of the following day.

Milk products are the second essential ingredient in the herdsman's diet. They are

the direct products of their activity. The cows are milked each morning and evening at the encampment. Some of the milk is left for the calves. Fresh milk is used to sprinkle over couscous. Most of it is put to sour in the shade to make soured milk. This, when watered down and sweetened, is the favourite drink of the Fulani. The cream is skimmed off and used to make butter, which is then sold.

Foods gathered from trees are equally needed but actual consumption is difficult to ascertain. The powdered leaves of the Baobab are used, as described above, to bind couscous, and the fruit pulp is used to make infusions. The new leaves of *Cassia tora*, which appear as soon as the rains begin, are eaten cooked with milk; the leaves of the legume *Vignia unguiculata* are used in various sauces.

At the onset of the dry season, the herders eat jujube berries (*Zizyphus mauritania*), and before the rains they eat the fruit of the *Sclerocarrja birrea*. The fruit is extremely rich in ascorbic acid (Kerharo and Adam, 1974). At around this time when the period of food scarcity begins, herders collect the seeds of *Boschia senegalensis* which, when pounded, is left to soak for several days. When cooked the seeds can either be eaten in this form or made into biscuits. China green tea is drunk very sweet and it is an appreciated beverage. Meat is practically never eaten except on feast days, and only the young herders hunt small game. Dried fish (*Sardinella* spp.) is used in sauces eaten with rice.

Meals are eaten around communal dishes, with the men and older boys eating from one, the women and children from the other.

METHODS

Organisation of Fieldwork

The results were obtained from measurements taken at five different times on the same group of herdsmen (see Table I) nomadising in the area served by five wells. These wells were chosen in order to respect the different ecological and human characteristics of the Ferlo. It is for this reason that they are situated on a transect crossing the zone in a Northwest–Southeast diagonal (see map, Figure 1). The locations and the demography of the camps situated in the areas were not known precisely as the herdsmen's administrative link is with the villages situated along the main transport road. Our first task was to take a census of all the Gallés situated in

TABLE I

Characteristics of a survey of Senegalese nomads by season, type of fieldwork and selected age groups (numbers in samples)

Date	Type of fieldwork ^a	No. Gallés	0–5 years	6–14 years	Men	Women	Total
March 1980	C-A-H	41	114	119	106	157	496
July 1980 ^b	D	—	—	—	—	—	—
Aug.-Sept. 1980	D-C-A-H	41	106	124	134	157	521
Jan.-Feb. 1981	D-C-A	37	88	114	101	142	445
June 1981	D-C-A	35	90	100	78	139	407
Total		154	398	457	419	595	1,869

^a Type of fieldwork; C—Clinical evaluation; A—Anthropometric measurement; H—Haematological measurement; D—Dietary record.

^b Fieldwork based on only 13 Gallés.

the five areas, which resulted in an estimated population of 11,000 people (one-third of the total population); and out of this number we chose a representative sample of Gallés, doing our utmost to respect the ethnic and social distribution, the different levels of wealth of livestock and to provide a geographical covering representative of the plains.

In order to carry out these different choices, we relied upon some former work on human geography (Santoir, 1977; 1980), on a livestock census carried out by the vaccination services and by development organisations, on administrative registers and lastly on our own observations.

Table I shows the many variations at different periods during the study. These variations are not the result of a negligence on our part of certain Gallés but were due to the wandering of small groups far beyond their usual circuit because of the destruction of their grazing land through drought or bush fires. We were able to relocate some of them elsewhere. The second factor, which is not obvious in the table, was a tendency amongst the younger adults to move toward the towns in the dry season. This migration is still relatively small. In the end everyone comes back to the Rumano. These variations constitute a bias in the representative sample and they involve a modification in the calculation of family needs which will be considered below.

Fieldwork Methodology

Two types of investigation were carried out: individual inquiries into the state of nutrition and investigations into food consumption by nutrition groups. Investigations into nutritional status were clinically evaluated according to a list of indices proposed by Jelliffe (Jelliffe, 1966) and by anthropometric and haematological measurements. These measurements were carried out with the same material and by the same observer each time.

Anthropometric measurements taken were of weight (W), height (H), mid-arm circumference (MAC) and triceps skinfold thickness (TSF).

Weight The subjects were weighed, lightly clothed, on scales accurate to 100 g. A systematic deduction was made of the weight of clothes and jewellery, estimated at 1 kg with adults and 500 g with children over five years. Children of up to two years were weighed in their mother's arms by a double weighing process.

Height Heights were taken accurate to 1 cm. Children up to the age of two years were measured lying down in an "infantometer" accurate to 1 mm.

Mid-arm circumference This parameter was measured half way up the left arm with a non-expanding fibreglass tape accurate to 1 mm.

Triceps skinfold Was measured using the Harpenden caliper at the same point as upper arm circumference, accurate to 1/10 mm.

We took samples of blood in March, 1980, and in August–September, 1980. We measured haemoglobin concentration with a portable spectrophotometer (Vitatron) using the cyanmethemoglobin method. Hematocrit was determined after centrifugation of capillary tubes in a portable centrifuge, and red cells count with a portable (Coulter) electronic meter. Vacutainers were used for the blood collection from adults, whereas in children blood was obtained from the pulp of the finger.

Investigations into food consumption were made quantitatively at the level of food groups. To do this we trained eight investigators who stayed five consecutive days in the Gallés. During this period they made a list of the consumers present; they also registered and weighed to an accuracy of 5 g all the food used to make the meals, the meal after it had been cooked and the leftovers. They made a record of all people present at each meal, and they ascertained what amount of food was consumed outside the family meal (fruit, milk, tea, etc.). They also determined by observation the activities of subjects aged over 13 years using a simplified code. Finally they determined the amounts of money spent on food during their stay in the Gallé.

The information was processed using a computer programme from the Organisation for Research for Food and Nutrition in Africa (Orana). This codex uses a food composition table with 270 entries derived from food analysis data applicable to Africa (Tourey *et al.*, 1967; FAO, 1968) or Asia (FAO, 1972) complemented by data derived from studies by Orana. Energy requirements were individually calculated according to age, sex, weight, height, physiological condition and physical activity gauged according to the FAO classification system—light, moderate, very and exceptionally active. For the various requirements we followed the recommendations of the joint FAO/WHO committees (FAO/WHO, 1962; 1967; 1970; 1973a; 1973b; 1975) and of the National Academy of Sciences for folic acid (NAS, 1977). The results are expressed in a daily *per capita* allowance.

RESULTS

Thirty-two of the 41 Gallés in the initial sample owned herds; four former captives of the Fulani and two captives of the Moors did not own any cattle; three Gallés were of a carpenter caste attached to Fulani groups. All these families have the same dietary customs.

We asked mothers about their successive pregnancies and were able to establish that out of the 157 women in the survey at the end of their reproductive life they had given birth four or five times (4.7 ± 2.6) and lost one to two children (1.7 ± 1). Children are weaned at about 17 months; it is a very gradual process. A good supply of milk is obviously a very favourable factor in coping with this period.

Clinical Evaluation

Table II shows the occurrence of signs of malnutrition in infants, schoolchildren and adults. The numbers of positive signs were too few for statistical analysis of seasonal variation. It must be emphasised that not one sign can be considered on its own as indicative of a deficiency (Jelliffe, 1966). Most of the signs suggest Protein Energy Malnutrition (PEM) amongst young children, but we did not find at any time serious syndromes such as Kwashiorkor or Marasmus.

Anthropometric Measurements

Table III shows weight-for-height distribution, observed in March, 1980, during our first investigation and follows the methods and grades used by Jelliffe (Jelliffe, 1966), using as reference points those of the National Center for Health Statistics (Hamill *et al.*, 1979).

There is no serious malnutrition (weight-for-height less than 70 percent) amongst

TABLE II
Clinical signs observed in 1,869 Senegalese nomads in three age groups

Syndrome	Clinical sign	0-5 years	6-14 years	Adults
Protein; energy; malnutrition	hair: thin and lustreless	1	—	—
	dyspigmentation	4	—	—
	edema	—	—	—
	lack of muscle	6	12	—
	swollen abdomen	12	10	—
	hepatomegalia	6	—	—
	diffuse facial depigmentation	1	—	—
Vitamin A deficiency	xerodermia	—	1	—
Vitamin C deficiency	spongy gums	—	2	—
Riboflavin deficiency	magenta tongue	—	—	1
	cheilosis	—	—	10
	angular stomatitis	4	—	—
Nutritional anaemia = pale conjunctiva		5	15	21
Number of positive signs		39	48	32
Number of subjects		398	457	1,014
Total number of subjects				1,869

TABLE III
Distribution of percentage of weight-for-height in infants and children of Senegalese nomads

Weight for height (%)	69	70-79	80-89	90	Total
Grade of malnutrition	3 (severe)	2 (moderate)	1 (mild)	0	
0-5 years boys	0	3	13	44	60
0-5 years girls	0	1	13	40	54
6-9 years boys	1	2	12	8	23
6-9 years girls	1	5	12	17	35
10-14 years boys	0	3	10	8	21
10-14 years girls	2	8	23	7	40
					(233)
Percentage of all individuals	1.7	9.4	35.6	53.3	100

TABLE IV
Mean percentage weight-for-age and height-for-age of Senegalese nomad infants and children

	0-5 years	6-9 years	10-14 years
	%	%	%
Weight for age	90.4 ± 10.4	89.3 ± 6.0	79.0 ± 15.5
Height for age	97.7 ± 4.7	92.7 ± 6.6	96.4 ± 5.5

children from zero to five years and only four cases of moderate malnutrition (weight-for-height between 70 to 80 percent). The situation, however, is mediocre amongst older children. Out of the 238 children examined, 35 percent were suffering from mild malnutrition with weight-for-height less than 90 percent.

Table IV shows increasing deficits for weight-for-age. Height deficits for age are minimal. The adult population is slender. The men have a weight range of 58.8 ± 7.3 kg to 66 ± 9.7 kg and a mean height of 173.5 ± 6.5 cm. The weight and height of the women range from 54.1 ± 6.8 to 58.5 ± 9.7 kg and 161.5 ± 5.7 cm.

TABLE V

Changes in selected anthropological measurements of Senegalese nomads by season, age group and sex (means \pm standard deviation)^a

Group observations	(Hot dry season) March 1980	(Rainy season) August-September 1980	(Cold dry season) January-February 1981	(Hot dry season) June 1981	No. of observations	F value	Significance
1-5 years old							
% MAC	93.3 \pm 6.9	89.7 \pm 7.3	91.6 \pm 6.8	91.3 \pm 6.8	294	3.86	0.01
% TSF	82.0 \pm 19.3	77.7 \pm 19.2	93.7 \pm 22.7	63.7 \pm 18.7	279	21.5	0.001
% MC	94.9 \pm 7.3	92.7 \pm 8.0	93.5 \pm 6.5	98.0 \pm 6.9	277	6.6	0.001
% wt. for ht.	93.7 \pm 9.5	91.5 \pm 10.5	94.9 \pm 9.4	94.4 \pm 9.9	297	1.6	NS
6-9 years old							
% MAC	89.3 \pm 6.0	87.0 \pm 6.4	90.2 \pm 7.9	89.8 \pm 6.8	206	2.05	NS
% TSF	72.0 \pm 15.0	66.5 \pm 18.5	83.4 \pm 25.2	51.9 \pm 12.0	192	23.2	0.001
% MC	92.7 \pm 6.6	91.0 \pm 6.6	92.7 \pm 6.6	97.1 \pm 7.3	191	6.6	0.001
% wt. for ht.	88.0 \pm 11.9	89.1 \pm 11.4	93.9 \pm 8.2	92.7 \pm 7.6	243	4.9	0.001
10-14 years old							
% MAC	88.2 \pm 7.9	83.4 \pm 8.1	87.9 \pm 12.1	90.9 \pm 9.8	183	4.6	0.01
% TSF	67.5 \pm 19.6	60.8 \pm 17.8	82.6 \pm 23.5	55.6 \pm 12.2	180	14.0	0.001
% MC	92.1 \pm 8.8	87.2 \pm 8.7	89.9 \pm 13.6	96.9 \pm 11.3	179	5.9	0.001
% wt. for ht.	86.2 \pm 10.9	83.7 \pm 6.8	88.7 \pm 8.1	89.1 \pm 8.0	214	4.5	0.001
Adult males							
% MAC	87.2 \pm 8.4	84.2 \pm 8.5	86.4 \pm 10.1	87.8 \pm 9.90	338	2.6	0.05
% TSF	54.1 \pm 21.2	49.3 \pm 24.1	60.2 \pm 33.8	47.0 \pm 24.9	324	3.4	0.025
% MC	95.5 \pm 8.6	89.3 \pm 8.5	90.6 \pm 11.5	94.2 \pm 10.0	323	8.7	0.001
% wt. for ht.	87.0 \pm 11.1	84.3 \pm 10.1	88.4 \pm 11.9	87.6 \pm 11.2	419	3.3	0.025 to 0.01
Adult females							
% MAC	90.8 \pm 10.8	85.5 \pm 10.3	89.9 \pm 11.4	90.8 \pm 11.0	513	6.9	0.001
TSF	72.0 \pm 26.0	63.9 \pm 27.5	80.1 \pm 31.2	63.6 \pm 33.9	492	8.0	0.001
% MC	94.5 \pm 10.3	90.0 \pm 9.0	92.6 \pm 10.9	96.8 \pm 9.6	490	9.8	0.001
% wt. for ht.	93.4 \pm 12.6	88.8 \pm 12.7	92.3 \pm 12.8	91.9 \pm 12.1	595	3.8	0.01

^aValues are expressed in an age percentage according to the standards of the NCHS for weight and height of children, and for those selected by Jelliffe (Jelliffe, 1966) for the other parameters (weight for height adult; MAC; TSF and MC). MC = muscular circumference, calculated according to the Jelliffe formula (Jelliffe, 1966). $MC = MAC - \pi \times TSF$.

respectively. These values conform with the known morphology of Sahelian peoples.

TABLE VI

Actual changes in anthropometric indices of Senegalese infants and children and seasonal differences in means^c

Indicators	Change ^a	Residual variance	Season			
			(i) wet 1980 versus hot 1980	(ii) wet 1980 versus cold 1981	(iii) cold 1981 versus hot 1981	(iv) hot 1980 versus hot 1981
0-5 years						
% MAC	2.29	48.5	-3.6 ^b	-1.9 (NS)	+0.3 (NS)	+2 (NS)
% TSF	3.3	389.8	-4.3	-16	+30	+18.3
% MC	2.47	53.09	-2.2 (NS)	-0.8 (NS)	-4.5	-3.1
% wt. for ht.	(F ratio NS)	—	—	—	—	—
6-9 years						
% MAC	(F ratio NS)	—	—	—	—	—
% TSF	7.4	331.9	-5.5 (NS)	-16.9	+35.5	+20.1
% MC	2.7	45.8	-1.7 (NS)	-1.7 (NS)	-4.4	-4.4
% wt. for ht.	3.6	97.5	-1.1	-4.8	+1.2 (NS)	-4.7
10-14 years						
% MAC	3.9	88.1	-4.8	-4.5	-3 (NS)	-2.7 (NS)
% TSF	8.0	360.6	-6.7 (NS)	-21.8	+27	+11.9
% MC	4.4	108.3	-4.9	-2.7 (NS)	-7	-4.8
% wt. for ht.	3.3	74.4	-2.5 (NS)	-5	-0.4 (NS)	-2.9 (NS)
Adult males						
% MAC	2.8	82.7	-3	-2.2 (NS)	-1.4 (NS)	-0.6 (NS)
% TSF	8.06	658.1	-4.8 (NS)	-10.9	+13.2	+7.1
% MC	2.9	89.5	-6.2	-1.3 (NS)	-3.6	-1.3 (NS)
% wt. for ht.	3.06	123.3	-2.7 (NS)	-4.1	+0.6 (NS)	-0.6 (NS)
Adult females						
% MAC	2.7	118.2	-5.3	-4.4	-0.9 (NS)	0
% TSF	7.5	864.6	-8.1	-16.2	+16.5	+8.4
% MC	2.5	490	-4.5	-2.6	-4.2	-2.3
% wt. for ht.	2.9	157.7	-4.6	-3.5	+0.4 (NS)	+1.5 (NS)

^a Minimal value that for difference of averages in order to be significant.

^b The sign shows the direction of the difference. (Were the % MAC in the wet season is less than the value for the hot season.)

^c To simplify the calculations, the comparisons have been made in relation to a value calculated in advance that the difference the change must reach in order to be significant to at least five percent. Bearing in mind the numbers involved it is necessary that $t = 2$, that is:

$$t = \frac{\Delta}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}} = 2$$

s^2 = residual variance; n_1 = effective of first group; n_2 = effective second group to be compared (Schwartz, 1977).

We have not discovered any significant seasonal variations in the distribution of the weight-for-height measurements amongst children, but if we compare the exact averages by age group and sex, there are very significant variations (Table V). Little variation was found, however, in the weight-for-height of children aged between one to five years and the mid-arm circumference of six to nine year olds.

Table VI shows the results of individual comparisons of means. We notice that the measurements taken in the wet season are always less than those taken in the previous dry season (March, 1980) or in the following one (January to February, 1981, columns i and ii). This period can be considered as a depressed time as far as nutrition is concerned. Significant differences in the results are more frequent amongst adults, particularly in women.

The comparisons between different times of dry season give less clear results but, as a general rule, the cool, dry season is marked by an increase of triceps skinfold compared with other times and can be considered as a period of recuperation. The decrease in the triceps skinfold at the end of the dry season is not generally followed by a synchronised decrease in arm circumference, although the muscular mass, which is a calculated measurement, increases (column iii). The two hot dry seasons, 1980 and 1981, are not equivalent (column iv). It seems that the situation was better in 1980, triceps skinfold and weight-for height being higher. The hot, dry season heralds a decrease which will reach its maximum in the rainy season. The intensity of this reaction depends on the reserves of fat which have accumulated at the end of the wet season and in the cool season. These reserves are in turn dependent on the quality of the preceding wet season which depends on factors such as the earliness of the rains, quality of the pastures and possibility of millet growing. In such a schema the seasonal cycle carry on without identical replication from one year to the next. Annual variations exist within an overall pattern of a long term cycle.

TABLE VII

Daily per capita intakes of energy and nutrients by Senegalese nomads compared with WHO/FAO recommendations by season

Period	Intake WHO/FAO noted requirement		Intake WHO/FAO noted requirement		Intake WHO/FAO noted requirement		Intake WHO/FAO noted requirement	
	July 1980		August-September 1980		January-February 1981		June 1981	
Energy Cal	2,153	2,156	2,005	2,264	2,619	1,986	2,432	2,134
MJ	9.0	9.0	8.4	9.4	10.9	8.3	10.2	8.9
Protein g	60.4	33.4	61.8	31.2	80.5	31.9	67.0	35.5
Calcium mg	576	544	1,073	543	1,468	558	853	564
Iron mg	26.2	12.0	18.1	9.3	63.9	9.5	24.3	11.6
Vit. A μ g	199	625	818	623	543	630	371	623
Riboflavin mg	0.93	1.19	1.43	1.25	1.62	1.09	1.16	1.17
Niacin mg	24.6	14.2	24.5	14.9	31.2	13.1	26.7	14.0
Vit. C mg	4	28	55	28	30	28	17	29
Folates μ g	128.6	352.8	100.8	345.8	156.2	349.1	127.2	351.2
Vit. B12 μ g	3.3	1.9	7.0	1.9	4.3	1.8	3.5	1.8
Zinc mg	9.9	14.4	9.1	8.9	11.9	9.4	10.2	13.1
Magnesium mg	1,629	237	945	237	1,745	232	1,621	236
Copper μ g	2,037	1,436	1,427	1,357	2,214	1,426	2,044	1,388
Thiamin mg	1,06	0.86	0.92	0.91	1.38	0.79	1.21	0.85

Energy and Nutrient Intake

Table VII shows the varying daily *per capita* intakes of energy and nutrients as well as estimates of requirements at different periods, according to the recommendations of the FAO/WHO. The results of the investigation of July, 1980, are based on a pilot investigation on only 13 Gallés, but they demonstrate clearly the transition between seasons.

Requirements vary with changes in physical activity as well as the evolution of the demographic structure of the groups. The return of the men to the Rumano in the wet season explains why their energy requirements are greater than in the dry season.

Estimates of energy requirements are marginally met at the end of the dry season and food intake is inadequate to meet these requirements during the wet season. From the beginning of June the energy intake, together with that of other nutrients, decreases in relation to nutritional requirements. In the hot season (March to June) when the energy requirement is at its lowest level, there is conversely a noticeable net improvement in the supplies of vitamins A, C and Riboflavin. Energy requirements are most easily met in the cool season (January to March). Estimates of folate requirements are never met.

Table VIII shows that the variations in nutrient and energy intake are due to differences in food consumption in the various seasons. Cereals and milk between them supply 73 to 78 percent of the energy. The energy deficit during the wet season is linked to a cereal shortage, and the poor milk production at the end of the dry season explains why vitamin A and Riboflavin requirements are not met and that calcium requirements are scarcely covered. Other foods which have little energy values have qualitative importance. For example, consumption of vegetables and

TABLE VIII
Per capita dietary intake of Senegalese nomads by season

Food group	July 1980		August–September 1980		January–February 1981		June 1981	
	Weight (g)	Cal/MJ	Weight (g)	Cal/MJ	Weight (g)	Cal/MJ	Weight (g)	Cal/MJ
Cereal	473	1,356/5.6	346	1,131/4.7	479	1,466/6.0	479	1,555/6.5
Root	0	0	0	0	0	0	2.8	3/0.01
Legumes	12.0	59/0.2	0.7	3	38.2	173/0.7	8	37/0.1
Vegetables	6.6	10/0.04	43	29/0.1	8	16/0.06	8	14/0.06
Fruit	0	0	3	2	4	10/0.04	4	4/0.01
Oil	24	211/0.9	17	129/0.6	16.3	144/0.6	21	186/0.7
Butter	1	7/0.03	3.2	25/0.1	2.7	20/0.1	2.3	18/0.07
Sugar	40	15.2/0.06	37	120/0.6	41	156/0.6	42	160/0.67
Tea	9.3	0	11.3	0	13	0	11.6	0
Meat	53.1	12.4/0.05	44	98/0.4	45	99/0.4	33	79/0.3
Fish	4.3	1.4/0.006	10.3	3.6/0.01	4	11/0.04	6.2	18/0.07
Dairy products	278	220/0.9	500	389/1.6	682	543/2.2	443	358/1.5
% of energy supply by cereals + dairy products		73%		75.8%		76%		78%

leaves of *Cassia-tora* in the wet season improves the supply of vitamin C, which is probably underestimated in this study. Dried fish and meat and some leguminous plants widely eaten in the cold season, *Arachis hypogea* and *Vigna unguiculata*, also improve the protein intake.

Protein quality was judged by the chemical score (Block and Mitchell, 1946). Out of all the Gallés studied, the chemical score was 1.0 in 41 percent of cases, and between 0.9 and 1.0 in 35 percent of cases. This indicates that the protein quality was "excellent to acceptable" in 76 percent of the Gallés. In the remaining 24 percent where the result was less than 0.9, the limiting amino acid is lysine which is the result of a cereal based-diet.

Hematological Data

Table IX shows the prevalence of hemoglobin values less than the threshold suggested by WHO at sea-level (WHO, 1972). The mean corpuscular volume (MCV)[†] was determined by hematocrit and blood count for a better characterization of the different forms of anemia amongst the 141 anemic subjects: On this basis 22 percent were anemia of the microcytic type ($MCV \leq 80 \mu^3$), 50 percent were normocytic ($MCV 80$ to $100 \mu^3$) and 28 percent were macrocytic ($MCV > 100 \mu^3$). Without being able to ascertain the etiology of these anemias, we note that if the alimentary iron needs are theoretically covered, iron from plants and diets based on cereals may be poorly absorbed because of their high phytate and tannin content. Because folate requirements were not met, this nutrient may also be responsible for anemia.

TABLE IX
Hemoglobin levels in Senegalese nomads by age and sex

Group	1-5 years N = 45	6-14 years N = 35	Male N = 15	Non pregnant female N = 45	Total N = 141
Hb ^a	<11 45	<12 35	<13 15	<12 45	141
% sample	41	30	15	50	29

^a WHO threshold (WHO, 1972).

Measurements were taken again in the wet season (Table X). Hemoglobin was significantly lower in men but not in other groups. Hematocrit levels were consistently lower except in children. This last result suggests that children were more protected from the seasonal depression than the other groups.

DISCUSSION

The observations recorded here show a contrasting nutritional situation which appears to be as good, if not better than that of non-nomadic people. No cases of serious malnutrition were found in the group of children studied during the 15 months' observation period. The prevalence of anemia is less than in Upper Volta

$$\dagger \text{ MCV} = \frac{\text{Hematocrit mm}^3}{\text{Blood cell count millions/mm}^3}$$

TABLE X
Mean hemoglobin (Hb) and hematocrit (Hct) levels in Senegalese nomads by age and season

	Parameter	Dry season	Wet season	<i>t</i>
0-5 years	Hct	34.7 ± 4.9	34.6 ± 4.2	NS
	Hb	10.9 ± 1.7	11.1 ± 1.4	NS
6-9 years	Hct	38.5 ± 4.0	36.9 ± 3.9	<i>p</i> < 0.05
	Hb	12.1 ± 1.4	12.4 ± 1.2	NS
10-14 years	Hct	40.6 ± 3.4	39.0 ± 3.2	0.02 < <i>p</i> < 0.01
	Hb	12.7 ± 1.7	12.5 ± 1.3	NS
Non pregnant female	Hct	38.0 ± 5.4	36.5 ± 4.8	0.05 < <i>p</i> < 0.01
	Hb	11.8 ± 1.9	11.5 ± 2.0	NS
Male	Hct	45.8 ± 4.3	43.0 ± 4.1	<i>p</i> < 0.001
	Hb	14.5 ± 1.5	13.9 ± 1.7	<i>p</i> < 0.01

(Benefice *et al.*, in press), in Mali (Benefice *et al.*, 1982) and other regions of Senegal (Chevassus-Agnes and Parent, 1979). Based on similar data collection procedures, the women seem to lose less children using the same interview technique than the women of Upper Volta, Mali or Casamance (Benefice *et al.*, 1983; Benefice and Chevassus-Agnes, 1982; Chevassus-Agnes and Parent, 1979). The data differ from that given by other investigations into the Sahel (Kloth *et al.*, 1976; Hogan, Staetling and Lane, 1977) and are comparable to other "nutritional successes" identified in arid zones elsewhere (Grivetti, 1978).

Nonetheless, serious nutritional problems do exist. The herdsmen face a food shortage and energy deficit of 1.1 MJ (260 Cal/day) below the estimated requirement during the wet season and 2.1 MJ (500 Cal) deficit daily compared with the cool season. While this deficit is accompanied neither by a significant increase in the frequency of malnutrition amongst children, nor by the appearance of clinical signs of deficiency, there is nevertheless a decrease in sub-cutaneous fat and a loss of weight. These modifications are very well defined amongst adults, whilst paradoxically children appear relatively protected. The following sequences can be distinguished in the seasonal variations. First, there is a nutritional decline in the wet season, a phase of recuperation in the cool, dry season, and a phase of progressive deterioration in the hot, dry season. The nutritional modifications do not generally change the muscle mass, (Figure 3) which is considered a good indicator of nutritional status and of protein reserves (Frisancho and Garn, 1971).

This population therefore appears to overcome the effects of a food deficit by mobilizing its reserves of subcutaneous fat.

Other factors can contribute to this success and, thus, the physical adaptation of these people to their milieu, particularly in a morphological way (Hiernaux and Froment, 1976). Similarly the transmission of certain parasitical diseases is thought to be less marked in the Sahel than in the Sudanic savannah; for it has been shown that infections and parasitical illnesses which have a seasonal character seriously affect the nutritional status (Poskitt, 1972; Thomson, 1977; McGregor, 1970). This is true also of attacks of diarrhoea in the wet season in tropical regions (Trowbridge and Newton, 1979). It is possible that these illnesses are less aggressive in the Ferlo which could explain the acceptable nutritional situation of young children. This fact remains to be proved, and if we have not been able to study with precision the

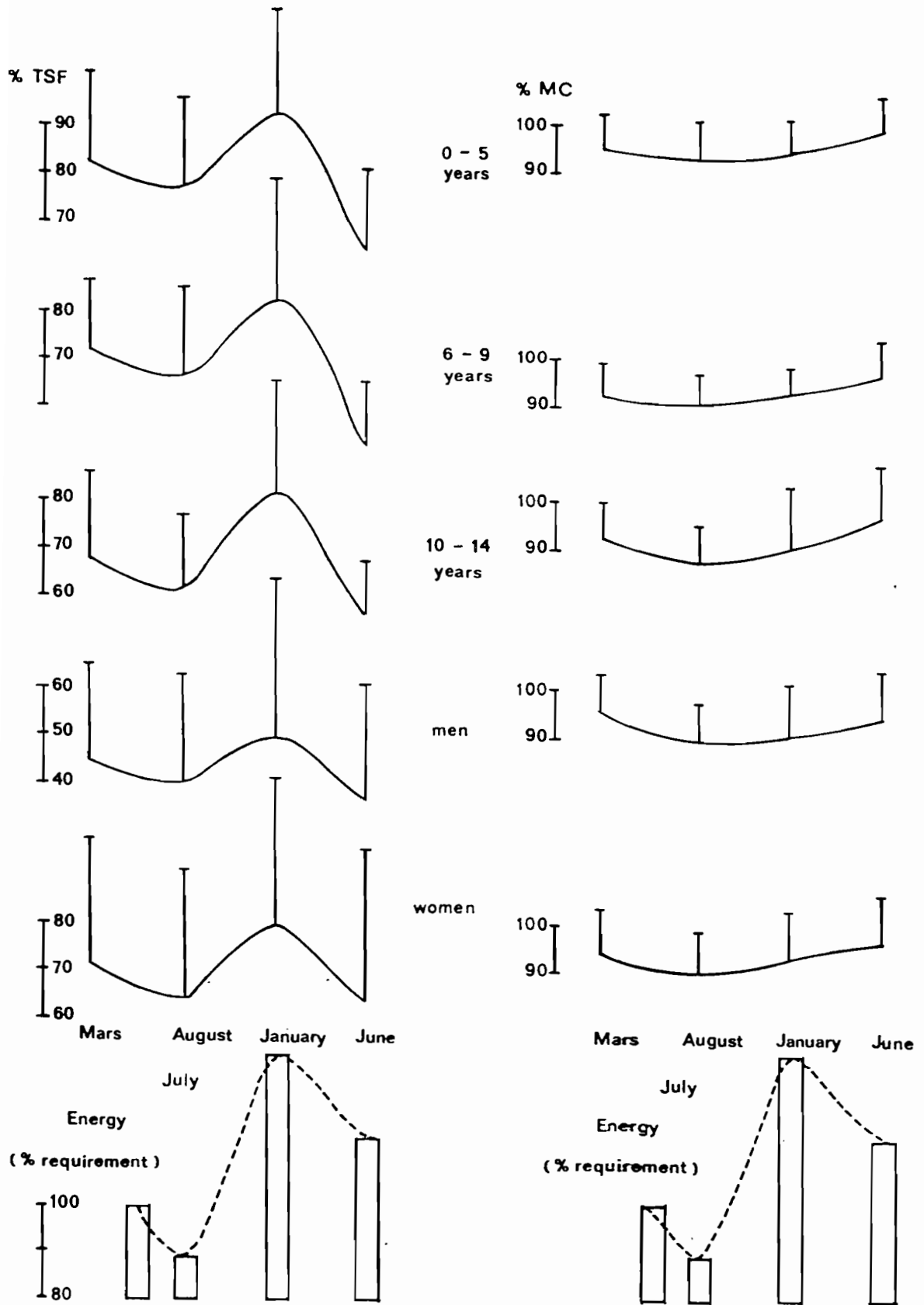


FIGURE 3 Seasonal variation of percent TSF, percent MC and energy content.

pathological burden, we have established that the most dangerous transmissible disease, malaria, is hyper-endemic in the rainy season (Parent, Benefice and Schneider, 1982). Our conviction is that food is the determining factor in both the depressed and recuperative nutritional phases.

To cope with the lack of food, people react in several ways. Physical activity, and therefore energy expenditure, is greatly reduced during the rainy season by the practice of the *Rumano*. Agricultural activities, if they take place, bear no comparison to the spectacular achievements of the peasants of the Sudanic savannah as have been seen in Upper Volta (Brun, Bleiberg and Goihman, 1981). It could be said that the herdsmen conserve their energy while they wait for better days. They attempt to offset the food shortage by resorting to food gathered from the wild. For example, the use of the leaves of *Cassia tora* was very widespread in September, 1981; but while this plant has little energy value, it is possible that its bulk helps to reduce the feeling of hunger. The fruit of *Boscia senegalensis* was eaten by several Gallés in July, 1980; it is considered as famine food by the farmers of the river valley. However, the increasing decline in flora which is now apparent is limiting this kind of recourse. There is a similar absence of game. The modern solution which is becoming more common is to replace millet shortages by purchases of rice. The quantities of rice consumed increase from 1.5 MJ (358.5 Cal) in the cool season to 2.0 MJ (478.0 Cal) in the wet season, when they equal millet consumption. The consumption of oil rises proportionally as milk products become more scarce (Table VIII).

In order to be able to buy these food supplies, the herdsmen must market their livestock more; sales which counted for 55 percent of their revenue in 1955 today count for 85 percent (Santoir, 1982). They increase regularly under the pressure of strong demand for meat in the towns and from policies of development organisations. There has been further stimulation from very high meat prices since 1972.

The nutritional evolution of the herdsmen appears to be as follows: deprived of their traditional exchanges through the commercial exploitation of the valley, they are forced to transform their traditional dairy herding into a commercial meat-producing venture. Their sources of supplies, formerly diversified by the practice of agro-pastoralism, of trading and of gathering wild fruit is now diminishing. They are becoming more economically vulnerable without benefiting from any greater food security. In the extreme this policy risks bringing about in the short term the disappearance of pastoral society as has been stressed by other observers (Teitelbaum, 1977; Santoir, 1982).

However, we hope that such a dramatic evolution will not take place, as current experiments prove that it is possible to reconcile the rational exploitation of a herd whilst placing at a distance the spectre of famine and assuring the maintenance of pastoral society.

CONCLUSIONS

The Fulani herdsmen whom we have studied enjoy a food and nutritional situation which does not correspond with the dramatic picture usually drawn. They encounter a period of food scarcity in the wet season accompanied by a loss of weight, but this is efficiently recovered in the following dry season. These facts bear witness to a remarkable understanding of the milieu and of its resources. Of particular importance is the fact that, far from passively submitting to the aggressiveness of the environment, the herdsmen have been able to construct a society of high cultural value and to develop a productive activity. Development actions to be undertaken

should take these facts into account in order to promote solutions which respect the norms of the pastoralist society.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed by a grant from the Délégation générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST), of the Ministère de la Recherche et de l'Industrie (MRI). We thank Mr. Seydou Diao and Mr. Ousseynou Gueye for their devoted collaboration and Miss Patricia Harrison for her kind assistance with the translation of the text into English.

REFERENCES

- Aall, C. and E. Helsig (1976). The Sahelian drought. *Trop. Pediatr.* **16**, 70-80.
- Annegers, J. F. (1973a). Seasonal food shortages in Africa. *Ecol. Food Nutr.* **2**, 251-257.
- Annegers, J. F. (1973b). The protein-calorie ratio of west African diet and their relationship to protein calorie malnutrition. *Ecol. Food Nutr.* **2**, 225-235.
- Barral, H. (1977). *Les Populations Nomades de l'Oudalan et Leur Espace Pastoral*. Travaux et Documents Orstom 77. Office Recherche Scientifique and Technique Outre-mer, Paris, pp. 1-120.
- Barral, H. (1982). *Le Ferlo des Forages; Étude de Géographie Humaine*. Orstom, Dakar, pp. 1-85.
- Benefice, E., S. Chevassus-Agnes, A. Epelboin and A. M. Ndiaye (1982). Aspects de la malnutrition chez les paysans du Sud du Mali. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* **75**, 315-322.
- Benefice, E., S. Chevassus-Agnes, A. Epelboin, C. Carles and A. M. Ndiaye (1983). Enquête nutritionnelle en Haute Volta: 1—Importance et formes de la malnutrition. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* (in press).
- Bleiberg, F., T. Brun and S. Goihman (1980). Duration of activities and energy expenditure of female farmers in dry and rainy season in Upper Volta. *Br. J. Nutr.* **43**, 71-82.
- Block, R. J. and H. H. Mitchell (1946). The correlation of the amino acid composition with their nutritive value. *Nutr. Abstr. Rev.* **16**, 249-278.
- Brun, T. (1974a). Demystifier la famine. *Cah. Nutr. Diétét.* **9**, 113-118.
- Brun, T. and V. Kovess (1974b). Situation alimentaire des populations du Sahel durant la secheresse. *Cah. Nutr. Diétét.* **9**, 119-127.
- Brun, T., F. Bleiberg and S. Goihman (1981). Energy expenditure in male farmers in dry and rainy season in Upper Volta. *Br. J. Nutr.* **45**, 67-75.
- Chastanet, M. (1982). *Les Crises de Subsistance dans les Villages Soninké du Cercle de Bakel, 1858 à 1945*. Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Dakar, pp. 1-27.
- Chevassus-Agnes, S. and G. Parent (1979). *Enquête Nutritionnelle en Casamance (Sénégal)*. Organisation de Recherche en Alimentation et Nutrition Africaine, Dakar, pp. 1-25.
- FAO (1968). *Food Composition Table for Use in Africa*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (1972). *Food Composition Table for Use in East Asia*. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO/WHO (1962). *Besoins en Calcium*. Série de Rapports Techniques N° 230. World Health Organization, Genève.
- FAO/WHO (1967). *Requirements of Vitamine A, Thiamine, Riboflavin and Niacin*. Technical Report Series 362. World Health Organization, Genève.
- FAO/WHO (1970). *Requirements of Ascorbic Acid, Vitamin D, Vitamin B12, Folate and Iron*. Technical Report Series 452. World Health Organisation, Genève.
- FAO/WHO (1973a). *Energy and Protein Requirements*. Food and Nutrition series 7, Rome.
- FAO/WHO (1973b). *Les Oligoéléments en Alimentation Humaine*. Série de Rapports Techniques 532. World Health Organization, Genève.
- FAO/WHO (1975). Besoins énergétiques et besoins en protéines. *Alimentation Nutr.* **1**, 10-18.
- Frisancho, A. R. and S. M. Garn (1971). Skinfold thickness and muscle size. Implications for development status and nutritional evaluation of children from Honduras. *Am. J. Clin. Nut.* **24**, 541-546.
- Gessain, M. (1978). Poids individuels saisonniers chez les Bassaris du Sénégal Oriental. *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris* **13**, 149-155.
- Greene, M. H. (1974). Impact of the sahelian drought in Mauritania, West Africa. *Lancet* **1**, 1093-1097.
- Grivetti, L. E. (1978). Nutritional success in a semi-arid land: examination of Tswana agro-pastoralists of the eastern Kalahari, Botswana. *Am. J. Clin. Nut.* **31**, 1204-1220.
- Hamill, P. V. V., T. A. Drizd, C. L. Johnson, R. B. Reed, A. F. Roche, and W. M. Moore (1979). Physical growth: national Center for Health, statistics percentile. *Am. J. Clin. Nut.* **32**, 607-629.
- Hiernaux, J. and A. Froment (1976). The correlations between anthropobiological and climatic variables in sub saharian Africa: revised estimates. *Hum. Biol.* **48**, 757-767.

- Hogan, R. C., N. W. Staetling, J. M. Lane *et al.* (1977). Sahel nutrition surveys 1974 and 1975. *Disasters* 1, 117-124.
- Jelliffe, D. B. (1966). *Assessment of the Nutritional Status of the Community*. Monograph Series 53. World Health Organization, Genève.
- Kerharo, J. and J. C. Adam (1974). *La Pharmacopée Traditionnelle au Sénégal*. Vigot Frères, Paris, pp. 141-142.
- Kloth, T. I., W. A. Burr, J. P. Davis, G. Epler, C. A. Kolff, R. L. Rosenberg, W. Staehling, J. M. Lane and M. Z. Nichaman (1976). Sahel nutrition survey, 1974. *Am. J. Epidemiol.* 103, 383-390.
- Marchal, J. Y. (1980). *Chronique d'un Cercle de l'AOF, Ouahigouya, Haute Volta, 1980-1981*. Travaux et Documents Orstom 125, Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Paris, pp. 1-215.
- McGregor, I. A. (1967). The Keneba environment (Gambia). In R. Debre, F. J. Bennett and P. Sarge (Eds.), *Conditions de Vie de L'Enfant en Milieu Tropical en Afrique*. CIE, Paris, Réunion et conférences XIV, pp. 39-41.
- McGregor, I. A., A. K. Rahman, A. M. Thomson, W. Z. Billewicz and B. Thompson (1970). The health of young children in a west African (Gambian) village. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 64, 48-77.
- Ndiaye, A. M., J. Pele and J. Bideau (1973). *Données Anthropométriques et Biologiques Recueillies au Cours d'une Enquête Alimentaire en Zone Sahélienne. (Nov.-Dec. 1973)*. Organisation Recherche Alimentation and Nutrition Africaine, Dakar, pp. 1-15.
- NAS (1977). *Folic Acid Biochemistry and Physiology in Relation to the Human Requirement*. Proceedings of a workshop in folate requirements. National Academy of Sciences, Washington.
- Parent, G., E. Benefice, D. Schneider (1982). *Enquête sur l'Epidémiologie de la Bilharziose Urinaire et Étude Séro Épidémiologique du Paludisme et des Tréponématose dans le Ferlo*. Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Dakar.
- Perisse, J. (1966). *L'Alimentation en Afrique Inter-Tropicale*. FAO, Rome, pp. 35-40.
- Poskitt, E. M. E. (1972). Seasonal variation in infection and malnutrition at a rural pediatric clinic in Uganda. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 66, 931-936.
- Santoir, C. (1977). *L'Espace Pastoral dans la Région du Fleuve Sénégal*. Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Dakar, pp. 1-60.
- Santoir, C. (1980). *Sédentarisation des Nomades et Hydraulique Pastorale dans le Djoloff*. Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Dakar, pp. 1-72.
- Santoir, C. (1982). *Contribution à l'Étude de l'Exploitation du Cheptel, Région du Ferlo, Sénégal*. Office Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Dakar.
- Schwartz, D. (1977). *Méthodes Statistiques à l'Usage des Médecins et des Biologistes*. Flammarion, Paris.
- Seaman, J., J. Holt, J. Rivers and J. Murlis (1973). Inquiry into the drought situation in Upper Volta. *Lancet* 2, 774.
- Teitelbaum, J. M. (1977). Human versus animal nutrition: a "development" project among Fulani cattlekeepers of the Sahel of Senegal. In T. K. Fitzgerald (Ed.), *Nutrition and Anthropology in Action*. Van Garkum, Assen, Holland, pp. 125-140.
- Thomson, A. M. (1977). The development of young children in a west African village, Gambia. A study in human ecology. In Garlick and Keay (Eds.), *Human Ecology in the Tropics, Symposia of the SSHB*. Taylor and Francis, London, 16, 113-126.
- Toury, J., P. Lunven and R. Giorgi (1961). Aliments de cueillette et de compléments au Sénégal et zone sahélienne. *Qual. Plan.* 8, 139-156.
- Toury, J., R. Giorgi, J. C. Favier and J. F. Savina (1967). Aliments de l'Ouest Africain. Tables de composition. *Ann. Nutr. Al.* 21, 73-127.
- Trowbridge, F. L. and L. H. Newton (1979). Seasonal changes in malnutrition and diarrheal disease among preschool children in El Salvador. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 28, 135-141.
- WHO (1972). *Les Anémies Nutritionnelles*. Série de rapports technique 503. World Health Organization, Genève.

DIFFERENCES IN LIFE STYLE AND NUTRITIONAL STATUS BETWEEN SETTLERS AND SIONA-SECOYA INDIANS LIVING IN THE SAME AMAZONIAN MILIEU

ERIC BENEFICE and HENRI BARRAL

*Department of Nutrition and Department of Geography, Institut Français de
Recherches pour le Développement en Coopération, and Instituto Nacional de
Colonización de la Región Amazonica Ecuatoriana, Quito, Ecuador*

(Received April 14th, 1990; in final form March 23rd, 1990)

The influx of migrant populations who came to colonize the Amazon province of Napo (Ecuador) profoundly changed the human landscape and physical environment of the region. To study the nutritional consequences of this newly created situation, individual anthropometric, agricultural and food consumption surveys were carried out among the colonizers and Siona-Secoya Indians.

None of the children displayed signs of serious malnutrition, but physical underdevelopment, infections and parasites were common, the settlers being more affected than the Indians. With a lifestyle favouring better hygiene, agriculture majoring in food crops, and a more diversified menu, the subsistence system of the Sionas-Secoyas is better able to meet their needs and maintain their physical integrity than that of the settlers, who are ill-adapted to their new surroundings and whose production is mainly oriented towards cash crops.

The efficiency of Siona-Secoya subsistence activities must be recognized, especially in the current context of competition for access to land which is jeopardizing the future of the group.

KEY WORDS: Ecuador, Amazonia, Siona-Secoya, nutritional status, parasitism, subsistence, anthropometry

INTRODUCTION

An ecological perspective integrating physical, social, cultural and biological factors (Jerome, Peltó and Kandel, 1980) is particularly useful in understanding the nutritional situation of peoples living in a state of subsistence. Nevertheless, the age-old balance between man and nature, which guaranteed satisfactory biological conditions, is currently being disrupted (Oomen, 1971), and resulting transitional situations are difficult to analyse. In northern Ecuador (the Amazon region), for instance, no group of Indians can avoid interethnic exchanges (Kroeger and Freedman, 1984). The cultural values of the indigenous groups of that region have often been noted by anthropologists (Larrick, Yost and Kaplan, 1979; Vickers, 1976), but their well-being is being jeopardized by the integration of the Amazon provinces into the rest of the country (Whitten, 1981). It has been observed, in Amazonia, that this type of change has been accompanied by a deterioration of the state of health of the indigenous population (Bourée *et al.*, 1985; Dricot-d'Ans and Dricot, 1978). The uniqueness of the present Ecuadorian situation consists in the coexistence, in the same milieu at the same time, of two very different subsistence systems: the "modern" system of the immigrants, representing in a certain sense the future evolution of the region, and the "traditional" system of indigenous groups representing the past and present situation of a population well adapted to its environment.

As a result, the following questions may be asked: Does the Indians' traditional system assure their survival as efficiently as that of the settlers? Would evolution toward a modern system have a positive effect on their health? Comparing the nutritional ecology of these two groups should help to answer these questions. Hence the aim of the present work is to describe and compare health and nutritional status of the Indians and the settlers, seeking explanation in their way of life, production system and diet.

MILIEU AND POPULATIONS

This study was carried out in an area below the 600 m contour, between the basins of the Aguarico and Napo rivers (see Figure 1). The area has a humid, tropical climate with an average temperature of 25° C and a high annual rainfall of 3,000 mm, evenly distributed in time, space and quantity. The vegetation consists of luxuriant, tropical forest. The discovery and exploitation of oil reserves in northeast Ecuador in 1967 led to the building of roads, and permitted the influx of migrants from areas on the coast and the Andes experiencing population growth (Uquillas, 1988). Natural disasters and economic crisis have further encouraged migration. Between 1974 and 1982, the population of the province of Napo increased from 62,000 to 115,000, of which 70% are currently settlers, installed mainly along the trunk roads.

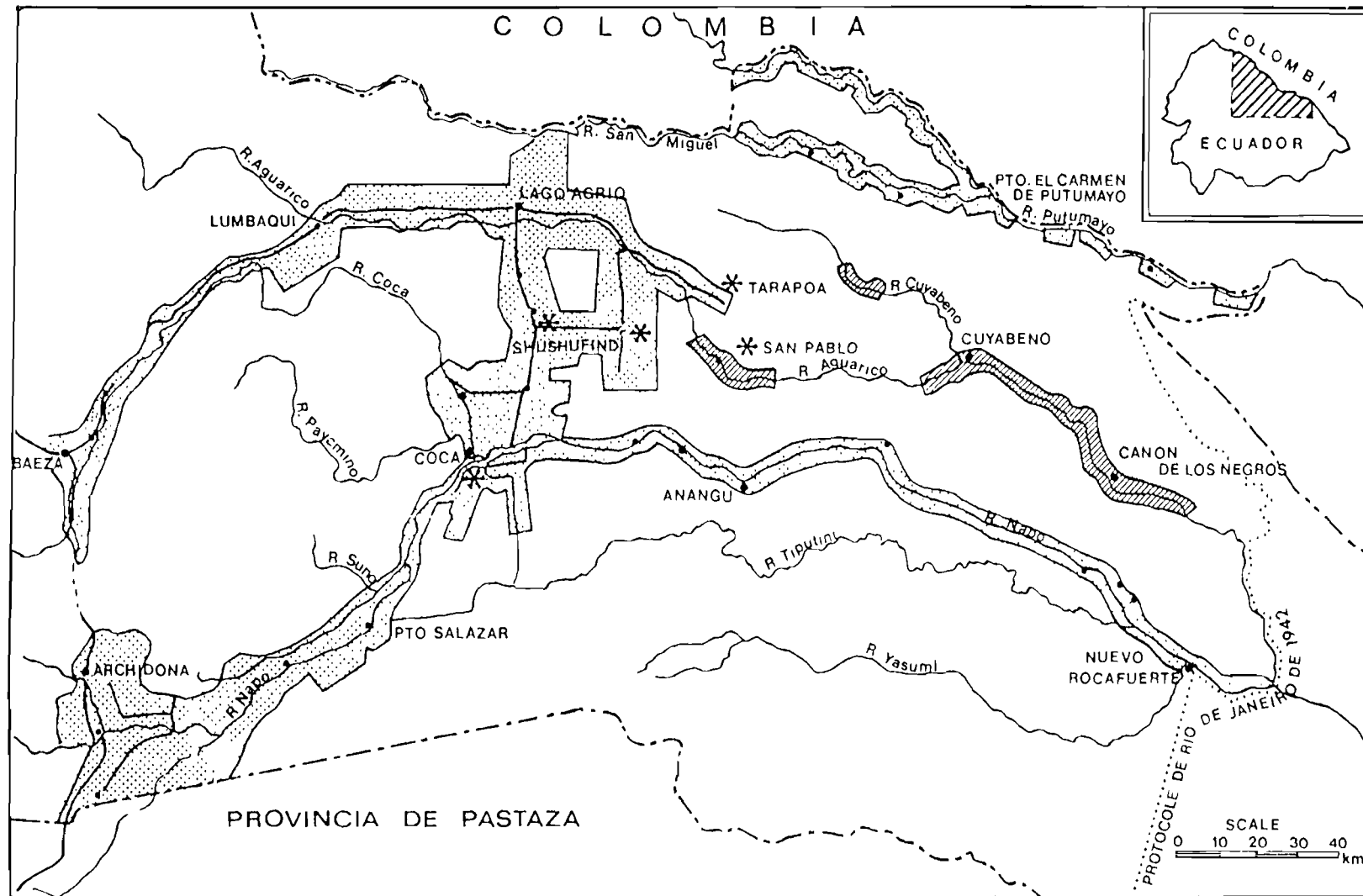
The settlers live in wooden houses perched on piles and roofed with corrugated iron. Inside, partitions divide them into small, poorly-ventilated rooms. They are surrounded by dense vegetation, and household rubbish, scattered freely, provides food for a host of rats, pigs and insects. Living far from the rivers, the settlers draw their water from shallow wells without sides, easily dirtied by horses or children. They use no latrines. Domestic animals, dogs, pigs, horses, mules and other animals are many.

The Siona-Secoya Indians living along the Aguarico River are descendants of two originally distinct ethnic groups, which are now closely related (Vickers, 1976). The Siona-Secoyas are members of the Western Tucanoan group, a branch of the Tucanoan linguistic family to which many Amazonian ethnic groups belong. It is an ethnic group in transition, in which traditional subsistence farming, fishing and hunting persist, but where market crops are making their appearance. The Siona-Secoyas have a markedly different lifestyle from that of the settlers. Their raised houses have bamboo floors and are roofed with matted palm fronds. They consist of one big room with low walls, and a small platform outside for the kitchen. The houses are kept clean inside and out, and surrounding vegetation is cleared. Influenced by Christian missionaries, San Pablo residents use latrines at the edge of the forest and filter rainwater through gauze for drinking. Every day, they spend a lot of time bathing and washing in the Aguarico River. Sometimes they keep tortoises or small animals such as *agoutis* (*Dasyprocta* spp.) in pens for food.

SUBJECTS AND METHODS

Our study consisted of an inquiry into the nutritional status of the community in the Amazon province of Napo (Ecuador) complemented by data on agricultural production and household food consumption. The first difficulty was to define the population groups. Immigration into Amazonia over the past decade has been so

FIGURE 1 Map of the Napo Province (Ecuador). (From H. Barral, 1987, with the authorization of the author.)



COLONIZATION AREAS
 SIONAS SECOYAS TERRITORY

* SITES INVESTIGATED

heavy that the numbers, localizations and activities of these settlers are still not fully known; to this may be added the fact that certain groups established in natural reserves or indigenous territories have no legal property rights, and thus fail to figure on official registration. In these circumstances, a functional basis was used to define a sample, that is, according to the use made of the soil. This method has, furthermore, been advocated and employed for other nutritional studies (Collis, Dema and Omolulu, 1962). To do this, one of us (H.B.) drew up a typology of the uses made of the soil by the population groups in the area (Barral, 1987) on the basis of an earlier socioeconomic survey (Barral, 1978), linked to the study of past and present aerial photographs and spot checks on the ground. The two most common production patterns for the province were selected: that of recent settlers in zones connected to the national highway network (that is, the petroleum-producing zone) and that of the Indians living along the rivers. Eight recently installed (mean = 5.5 ± 1.5 years) settler's communities, or "cooperatives," in Shushufindi, Tarapoa and Coca areas (Figure 1), were contacted and 83 families with small children were selected for study. In the course of seven visits between January 1984 and June 1985, practically all members of these families, 855 individuals, were examined. This figure represents 1% of the province's approximately 80,000 recent immigrants, the population group by far the most numerous.

The Siona-Secoya Indians in the San Pablo of Kantesi-Aya district were chosen by virtue of abundant earlier contact. The Rio Aguatico Sionas-Secoyas count 105 heads of households, representing some 400 individuals. Most of the inhabitants of the San Pablo population centre and its surrounding hamlets (230 individuals belonging to 20 households) were examined. Table I shows the sample sizes for both groups. Numbers of adolescents and adult males are relatively low since their work in distant fields or in the forest made them miss the survey.

Health and nutritional investigations consisted of a general clinical examination and measurements of weight (in kg) and height (in cm). The children were weighed,

TABLE I
Demographic characteristics (numbers) of settlers and Siona-Secoya Indians studied in the Napo Province of Ecuador.

	<i>Settlers</i>	<i>Siona-Secoyas</i>	<i>Total</i>
<i>Nutritional survey</i>			
No. families	83	20	103
0-4 year-olds	231	38	269
5-7 year-olds	142	38	180
8-12 year-olds	209	74	283
13-16 year-olds	82	29	111
Adult males	40	12	52
Adult females	151	39	190
Total individuals	855	230	1085
<i>Food consumption survey</i>			
No. families	26	8	34
0-4 year-olds	36	14	50
5-7 year-olds	26	4	30
8-12 year-olds	30	7	37
13-16 year-olds	9	2	11
Adult males	34	8	42
Adult females	29	13	42
Total individuals	164	48	212

lightly clothed, on a medical precision scale accurate to within 10 g. Children less than 2 years old were weighed nude in the arms of their mother. Then she was weighed immediately afterwards and the weight of the child determined by calculating the difference between the two measures. Children up to 2 years of age were measured lying down on an infantometer; those age 3 years and over were measured standing up, with a stadiometer. These data were converted into "Z-scores" by using the National Center for Disease Control of Atlanta software (Anthropometric software package, CASP version 3.0, based on National Centre for Health Statistics (NCHS) data) (Hamill *et al.*, 1979) for children up to 8 years old. Thereafter, and for adults, the "body mass index" or BMI (weight/height²) was used as a global indicator of nutritional condition.

Finally, stool specimens were obtained from 319 children 6 months to 10 years old, for determination of presence of parasites. The stools were examined on the site, immediately after emission, in a saline solution with a drop of lugol (King, 1973). *Enterobius* eggs were not searched for in the anal border and no attempt at quantitative determination was made. All health examinations were made by the same observer (E.B.)

From these 103 families, a subsample of 34 families (26 from the settlers and 8 from the Siona-Secoya) was selected for dietary investigation (Table I). There is no difference in the breakdown by sex and age groups between the two communities (Chi² = 4.6 for 5 df, p = 0.55). A subsample of 29 families (19 from the settlers mentioned above less 7 from the Coca area; and 10 from the Siona-Secoya) was selected for the enquiry into agricultural production.

Agricultural production was assessed quantitatively by questioning heads of families, backed up by complete, topographical plotting of each lot with a compass and distance counter, noting the crops encountered. Irregularly shaped Indian lots were surveyed along parallel lines 20 m apart to arrive at a percentage for the different crops, which are generally interplanted. This survey was done by the same observer (H.B.).

A skilled nutritionist was in charge of enquiries into family consumption from January to March 1986. Food consumption was studied quantitatively by weighing prepared food and the left-overs in the households, during three consecutive days. The amount of food consumed outside the household was estimated through interviews. The information was processed with an ad hoc computer programme employing a food composition table compiled from those already existing (Wu Leung and Flores, 1961), complemented by data derived from relevant literature (Beckerman, 1979; Gross, 1975; Shrimpton and Giugliano, 1979; Lopès-Aguiar *et al.*, 1980; Hill *et al.*, 1984). The results are expressed on a daily *per capita* basis.

The data were analysed using the BMDP Statistical Software. Nonparametric tests (Kruskall and Wallis's "H" test) were used when the normality of the distribution could not be assumed. These tests are equivalent to the one-way analysis of variance (Hollander and Wolfe, 1973); otherwise simple T-tests were performed (Schwartz, 1977).

RESULTS

Land Use

Each settler family is allocated a 50 hectare (ha) plot, of which it clears, on average, less than 14 ha. Coffee is the main crop. Grass for pasture is sown in the hope of

rearing cattle later, a hope which rarely materialises. Cacao production is poor. Subsistence farming is limited to growing bananas (*Musa sapienta*) and plantain (*Musa paradisiaca*). Maize (*Zea mays*) is sown on freshly cleared land, which must, nevertheless, be abandoned the following year owing to the proliferation of weeds. The same applies to rice, which is sometimes planted in swampy areas. Growing of tubers is of no importance.

The Siona-Secoya practice itinerant, slash and burn horticulture on garden plots (*chacras*) cleared on the fertile, alluvial terraces along the Aguarico River. The location also makes for easy communication and transport. Indians grow cassava (*Manihot esculenta*), plantain and maize. They also plant useful shrubs and trees such as lemon (*Citrus limon*), orange (*Citrus sinensis*), pawpaw (*Carica papaya*), peach palm proper, or *chonta* (*Eccris gasipes*), avocado pear (*Persea americana*), spices (*Capsicum spp.*), and *caimano*, or star apple (*Chrysophyllum caimito* L.) The trees and shrubs go on bearing fruit long after other cultivars have been abandoned. The life span of a chacra, or riverside garden plot, is five to 6 years, after which time it is left fallow for an equal period. On average, each household cultivates 2.6 ha.

Table II summarizes the various products of these groups. Despite the appearance of coffee amid the products of certain Indian families, the table clearly shows the Siona-Secoya's preference for food crops as opposed to the settlers' orientation towards cash products. In the settler communities, 5 ha produces more or less 20,000 kg of coffee, which yielded 120,000 to 140,000 Ecuadorian sucres in 1986 (US\$ 1000 to 1300). A single family could hardly manage more than 7 ha of coffee. In consequence, many settlers tend to rely almost exclusively on coffee with a few other crops (maize, cacao) that give a regular but limited income. With that cash, the settlers not only have to feed and maintain their families but also support good running of the farm and sometimes reimburse the loans obtained for purchase of the plot and house. As far as food crops are concerned, Indians' productivity is far higher than that of the settlers. For example, the amount of maize harvested in the Siona-Secoya community of San Pablo reach 17.5 quintals (1750 kg) per ha per year, while only 12 quintals were obtained in the settler community of Tarapoa. Unquestionably, compared to the settlers, the Indians practise a better selection of cultivation sites and a better planting system, which together preserve the natural fertility of the land.

TABLE II
Agricultural production of settlers and Siona-Secoyas in Napo Province, Ecuador.

	Settlers (19 families)		Siona-Secoyas (10 families)	
	No. ha/family	%	No. ha/family	%
Pasture	4.84	36.3	—	—
Coffee	4.80	36.0	0.26	10.0
Cacao	0.79	6.0	—	—
Maize	1.23	9.3	0.95	36.2
Plantain & banana	0.82	6.2	0.53	20.2
Rice	0.80	6.0	—	—
Manioc	0.02	0.2	0.47	17.9
Fruit trees	—	—	0.21	8.0
Fallow fields	—	—	0.20	7.6
Actual farming land (ha)	13.30	100.0	2.62	100.0

TABLE III
Prevalence rate of parasite species among settler compared with Siona-Secoya children, Napo Province, Ecuador.

<i>No. examined</i>	<i>Settlers</i>	<i>Siona-Secoyas</i>
	<i>n = 259</i>	<i>n = 60</i>
	%	%
<i>Ascaris lumbricoides</i>	62.0	16.6
<i>Trichuris trichiura</i>	58.0	15.0
Hookworm	31.2	33.3
<i>Strongyloides stercoralis</i>	20.0	0.0
<i>Hymenolepis nana</i>	2.3	5.0
<i>Entamoeba histolitica</i>	6.5	5.0
<i>Giardia lamblia</i>	7.7	8.3
<i>Chilomastix mesnili</i>	25.4	0.0
<i>Balantidium coli</i>	2.0	0.0
Total positive	82.0	50.0 ^a
Positive with polyparasitism	64.0	26.0 ^b

^a Chi² = 27.2, p < 0.001, df = 1

^b Chi² = 28.8, p < 0.001, df = 1

Health and Nutritional Status

Clinical information collected showed no serious cases of malnutrition such as kwashiorkor or marasmus. As far as any other clinical abnormalities, discernible under in-the-field conditions, are concerned, more than one child in four of those aged up to 7, and one in three under age 5, presented symptoms of infection or infestation. Twelve percent of the children suffered from dermatosis (such as pyodermatitis, impetigo, lice, scabies injuries); 7% had noncomplicated diarrhea; 3% infection of the upper respiratory tract and 2%, an infection of the lower respiratory tract, mainly bronchitis and bronchiolitis.

Of the 319 stool specimens examined from the 6-month to 10-year-old children, 76% were positive and 56% revealed more than one parasite. Table III documents the distribution of parasites according to the population group. Nine types of helminths and protozoa were identified. Cysts of amoeba were numerous but are not mentioned here because of the difficulty of their identification under in-the-

TABLE IV
W/age, H/age and W-for-H Z-scores distribution of 0- to 48-month-old children, settlers compared with Siona-Secoyas, Napo Province, Ecuador.

<i>Z-score range</i>	<i>Height/age</i>		<i>Weight/age</i>		<i>Weight/height</i>	
	<i>Settlers</i> <i>n = 231</i>	<i>Indians</i> <i>n = 38</i>	<i>Settlers</i> <i>n = 231</i>	<i>Indians</i> <i>n = 38</i>	<i>Settlers</i> <i>n = 231</i>	<i>Indians</i> <i>n = 38</i>
< -2	69 (30%)	12 (32%)	40 (17%)	4 (10%)	11 (8%)	0 (0%)
-2 to -1	62 (27%)	12 (32%)	76 (33%)	11 (29%)	31 (13%)	4 (10%)
> -1	100 (43%)	14 (36%)	115 (50%)	23 (61%)	189 (82%)	34 (90%)
Chi ² value	0.61	(df = 2)	1.81	(df = 2)	2.25	(df = 2)
p	NS ^a		NS		NS	

^aNS = not significant.

field conditions. The settlers suffer most from ascaris and the Sionas-Secoyas from hookworm (probably *Necator americanus*). *Balantidium coli* trophozoa and *Strongyloides stercoralis* larva were found only in the child settlers. The prevalence rate of infestation is significantly higher for the settlers than for the Indians (82% against 50%; $\text{Chi}^2 = 27.2$ for 1 df), as is their likelihood of harbouring more than one parasite (64% against 26%; $\text{Chi}^2 = 28.8$ for 1 df).

Anthropometric measurements give an objective indication of nutritional condition. The following indicators were studied: weight-for-age (W/age); height-for-age (H/age) and weight-for-height (W-for-H), and presented as Z-scores of the NCHS reference population according to the current recommendations of the World Health Organization (WHO Working Group, 1986). Table IV shows the distribution of preschool age children on the cut-off points of -2 and -1 standard deviations. Stunting affects a large proportion of preschool aged children: 30% among them has a height/age deficit of greater than two standard deviations. Among children between the ages of 5 and 7, the prevalence of stunting is greater for children of settlers, as practically half of them are affected, compared to 16% for Indian children (Table V). Weight deficits are also widespread: 17% of the preschool-aged settlers' children and 10% of Indians have a W/age below 2 SD. In the case of children aged 5 to 7, this proportion decreases for the Indians (2% with W/age below 2 SD), but remains unchanged among the settlers' children. However, heights are in harmony with weights and W-for-H shows no significant differences between the two groups. Moreover, W-for-H deficiencies are rare in this age category, affecting only 2.8% of the children.

For children over 7 and for adults, body mass index was used as a global nutritional indicator (Table VI). This index is, on average, higher for the Indians than for the settlers, except in the case of adolescent girls and women, who show no difference.

Food Consumption

In both communities, small children are breastfed for at least one year, and all are weaned at around 18 months. From then on, the foods offered to them (banana, plantain and cassava gruel) are bulky for their energetic density and protein content. This would explain the poor nutritional status of preschool children as compared with older ones (see Tables IV and V: 20% of children aged 4 years and under are below 1 standard deviation of W-for-H, as against only 2.8% for those over 4).

TABLE V
W/age, H/age and W-for-H Z-scores distribution of 49- to 84-month-old children, settlers compared with Siona-Secoyas, Napo Province, Ecuador.

Z-score range	Height/age		Weight/age		Weight/height	
	Settlers <i>n</i> = 142	Indians <i>n</i> = 38	Settlers <i>n</i> = 142	Indians <i>n</i> = 38	Settlers <i>n</i> = 142	Indians <i>n</i> = 38
< -2	69 (49%)	6 (16%)	24 (17%)	1 (2%)	2 (1%)	0 (0%)
-2 to -1	38 (27%)	20 (53%)	51 (36%)	6 (16%)	3 (2%)	0 (0%)
> -1	35 (25%)	12 (32%)	67 (47%)	31 (82%)	137 (97%)	38 (38%)
Chi ² value	14.52	(df = 2)	5.28	(df = 2)	1.37	(df = 2)
p	< 0.001		< 0.001		NS	

TABLE VI
Body mass indexes (kg/m²) of children over 7 years and adults, settlers compared with Siona-Secoyas, Napo Province, Ecuador.

	Settlers	Siona-Secoyas	t	p
8-12 year-olds boys	n = 105 16.5 ^a 1.4 ^b	n = 55 17.3 1.2	3.29	<0.001
8-12 year-olds girls	n = 104 16.9 1.6	n = 56 17.7 1.6	2.36	<0.02
13-16 year-olds boys	n = 37 17.9 1.6	n = 22 20.5 2.1	4.94	<0.001
13-16 year-olds girls	n = 45 20.1 3.1	n = 7 22.9 4.6	1.50	NS
Adult men	n = 46 22.9 2.4	n = 12 25.9 3.1	3.57	<0.001
Adult women	n = 151 24.4 3.0	n = 55 24.8 2.7	0.71	NS

^aMean

^b1 SD

The settlers' staple food is rice, most of which is bought, and eaten garnished, within the limits of local availability, as it would be in their places of origin. It is a monotonous menu of quickly prepared dishes, for which 80% of the food items must be purchased. Market price fluctuations and the unreliability of supply are the main determinants of the daily food ration. Cassava and plantain form the staple foods of the Siona-Secoya, with maize coming third. These foodstuffs are served in different ways: as pancakes, as porridge, or as fermented beverages. The preparation of such brews can be complex and may require the collaboration of several people. To these foodstuffs must be added the produce of hunting, fishing and gathering, which contribute 20% of the Indians' total energy intake. The Siona-Secoya produce or collect more than 90% of their food.

Table VII compares food intakes in settlers' and Indians' families. There are no statistically significant differences in the quantities consumed by the two groups except for the quantity of fat, which is higher for the settlers.

However, although the two diets have a similar energy and protein content, qualitatively they are quite different (Table VIII). The settlers obtain 41% of their calories from cereals and 14% from fatty foods, whereas the Indians obtain 52% of their calories from plantains and bananas and 16% from products of animal origin; the Indians consume almost no sweet or fatty foods. The protein in the settlers' diet originates chiefly from plants (42% from cereals, 14% from legumes), whereas 73% of the Siona-Secoya's protein comes from animals. Hence, the Siona-Secoya's ration structure differs from that of the settlers' (Table IX). While fats are a very important source of calories for the settlers, the Indians get most of theirs from protein and carbohydrate foods.

TABLE VII
Daily per capita intake of energy and selected nutrients of settlers compared with Siona-Secoyas selected in Napo Province, Ecuador.

	Settlers	Siona-Secoyas	'H' ^a	p ^b
N. households	26	8		
N. individuals	164	48		
Energy intake	7991 ^c	7268	0.60	NS
(kJ)	2424 ^d	1688		
(kCal)	1910 ^c	1737		
	579 ^d	403		
Protein intake	43.8	55.5	1.39	NS
(g)	17.2	23.2		
Carbohydrate intake	338.4	351.2	0.03	NS
(g)	95.8	84.4		
Fat intake	45.5	24.0	6.34	< 0.03
(g)	20.7	22.6		
Fiber intake	4.9	6.1	1.96	NS
(g)	1.9	1.9		

^aKruskal-Wallis test statistic

^bUsing Chi-square distribution with 1 degree of freedom

^cMean

^d1 standard deviation

DISCUSSION

This study shows that, although the state of health and nutrition of the Napo province settler and Indian communities is generally acceptable, a high proportion of children are undersized and many suffer from infections and parasitic infestations. These abnormalities affect the settlers more than the Siona-Secoyas. Complementary information on their lifestyles, agricultural production and eating habits helps to explain these results from an ecological perspective. Nevertheless, since the studies are cross-sectional and do not use the same statistical units (individual for health and nutritional status, household for food consumption survey), it is not possible to establish firmly a cause and effect relationship among the various data.

In the 0 to 7 year age group, the height and weight deficits in relation to age are frequent. If one judges severe malnutrition based on the W/age indicator, the prevalence rate appears very high (10–17% of preschool aged children have W/age below 2 SD); in any case these weight deficiencies are associated with height deficits. In effect, less than 5% of the preschool aged settler children and no Indians have W-for-H under 2 SD. This kind of difference of prevalence rate between H/age and W-for-H is observed elsewhere in Latin America. A recent study from Peru suggests that this could be due to variations in the composition of the lean body mass, greater hydration of lean tissue, in relation with environmental influences, in particular nutritional (Trowbridge *et al.*, 1987). A tendency for the Siona-Secoyas to have bigger children and adults is seen from the BMI readings. This index is sometimes criticised for not taking into account frame size variations in adults, but in this instance it is not important since the aim is not to diagnose a type

TABLE VIII

Relative per capita contribution of food groups to energy and protein intakes, settlers compared with Siona-Secoyas, Napo Province, Ecuador.

<i>Food groups</i>	<i>Cereals (rice & maize)</i>	<i>Roots</i>	<i>Legumes</i>	<i>Plantains & bananas</i>	<i>Oil</i>	<i>Sugar</i>	<i>Meat & fish</i>	<i>Dairy products</i>
Energy supplied (%)								
Settlers	41.3 ^a	7.1	4.8	11.4	14.0	12.6	6.0	2.3
(26 families)	10.1 ^b	7.8	5.2	8.0	4.3	5.9	33.8	2.5
Siona-Secoyas	7.7	18.8	0	52.5	4.3	0.2	16.1	0
(8 families)	7.5	9.9	0	12.4	7.7	0.7	7.3	0
'H' ^c	17.8	8.2	12.3	17.5	10.6	18.0	12.3	7.1
p ^d	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Proteins supplied (%)								
Settlers	42.0	5.2	14.2	6.2	-	-	24.3	5.6
(26 families)	13.9	3.8	1.4	4.8	-	-	15.1	6.0
Siona-Secoyas	6.1	3.2	0	17.0	-	-	73.3	0
(8 families)	7.8	1.9	0	5.9	-	-	10.2	0
'H' ^c	17.0	2.0	12.3	13.4	-	-	17.5	7.2
p ^d	< 0.001	NS	< 0.001	< 0.001	-	-	< 0.001	< 0.01

^a Mean

^b 1 standard deviation

^c Kruskal-Wallis test statistic

^d Chi-square distribution with 1 degree of freedom

TABLE IX
Average per capita energy composition of the diet, settlers compared with Siona-Secoyas, Napo Province, Ecuador.

	% energy as protein	% energy as carbohydrate	% energy as fat
Settlers (26 families)	8.9 ^a 1.9 ^b	70.0 6.0	20.4 5.7
Siona-Secoyas (8 families)	11.7 3.0	75.6 5.5	11.2 9.4
'H' ^c	6.47	1.82	4.05
p ^d	<0.01	NS	<0.04

^aMean

^b1 standard deviation

^cKruskal-Wallis test statistic

^dChi-square distribution with 1 degree of freedom

of obesity, but to present a simple and all-embracing nutritional indicator (Frisancho and Flegel, 1982; WHO Working Group, 1986). For older children, these indices are comparable to the median of values of 16 to 18 kg/m² observed for the white population of the NCHS (Cronk and Roche, 1982). On the one hand, the adult male settlers' BMI, 22.9 kg/m², is not so far below the figure of 25 kg/m² usually observed in developed countries.

The differences in nutritional status between the two groups are in close agreement with other studies carried out elsewhere in Amazonia which show satisfactory health and nutrition among the Indians (Cabannes, Larrouy and Ruffié, 1964; Fagundès-Néto *et al.*, 1981; Berlin and Markell, 1977; Larrick, Yost and Kaplan, 1979), in contrast to the poor health of acculturated Indian groups (Bourée *et al.*, 1985; Dricot-d'Ans and Dricot, 1978) and settlers (Foxman, 1984; Giugliano, Giugliano and Shrimpton, 1981).

The high proportion of underheight children may be partly hereditary (Eveleth and Tanner, 1976), but it may also be due to the persistence of chronic malnutrition (Waterlow, 1972), the effects of which are felt more by the settler children than by the Indian children. In fact, these results cannot be explained by simple differences in origin. On the other hand the genetic distance between settlers and Indians is obviously small since the settlers are, in fact, of mixed Indian-European origin, in some cases pure Amerindians. On the other hand, it can be shown from epidemiological studies that differences in child height reflect socioeconomic status rather than genetic origin (Habicht *et al.*, 1974). Reduction in height is an "unspecific response to a number of specific noxious agents . . ." (Keller, 1988), malnutrition or insufficient food intake as well as repeated infections being at present the two assumed major causes of stunting.

Infections and parasites are very common, although we were not able to diagnose or identify them all with precision. The level of parasite infestation may be taken as a general indicator of the degree of hygiene. The difference in prevalence and nature of the species encountered among settlers' children as compared to Indian children can be discussed from the following standpoints related to their lifestyle: domestic water supply, sanitary environment and housing conditions (Feachem, 1977). For the Siona-Secoyas, water is readily available and of good quality; their houses and their surroundings are kept clean, they use latrines, and the rare

domestic animals are kept separately from humans. On the other hand, the settlers have bad quality water with only limited quantities available during the dry season; the land around the house is not cleaned and there is no strict segregation between men and beasts: the settlers exercise a much looser control over their environment than the Indians do. Studies conducted in Amazonia have revealed a high level of infestation in groups undergoing change and whose living conditions are rapidly deteriorating (Lawrence *et al.*, 1980; Bourée *et al.*, 1984). The high level of ascaris infestation, a short life-span helminth needing constant reinfestation, among the settlers' children may be related to the sedentary habits of these groups (Chernela and Thatcher, 1989). The opposite is seen for the Indians' children who moved periodically towards their chacras and who are more affected by hookworm infestation, a long life-span parasite. In this connection, it should be noted that a study of the Waorani Indians living in the same Amazonian region showed them, too, to be more affected by hookworm than by ascaris (Kaplan *et al.*, 1980).

Housing conditions can also play a role in passing on illnesses. A study conducted in the area has shown the traditional Amerindian houses protect their inhabitants against the aggression of the milieu better than the settlers' buildings do, and that they are also more roomy (Kroeger, 1980).

Another factor explaining the differences in anthropometric status between the two communities concerns the food they eat. As explained above, the nutritional data may not be directly comparable to the results of the food consumption investigation, since the latter was based on the family unit, and the manpower and time needed to produce acceptable individual data was far beyond the means available. The data presented, therefore, are useful mainly for orientation and information since, to our knowledge, no other survey into the eating habits of the settlers has been conducted in this region to date. Given these restrictions, it was not possible to highlight any significant differences in food intake between the Indian households and those of the settlers' except for fat consumption. The Indians' intake of energy and proteins seems lower than indicated in earlier studies (Berlin and Markell, 1977; Chagnon and Hames, 1979; King and Levey, 1982; Vickers, 1976; Milton, 1984). A strict comparison is not possible since the methodologies employed are too dissimilar. Vickers studied 5 individuals in the same village (San Pablo) during 3 days, ten years earlier, and found their average intake to be 9559 kJ (2285 kCal) and 81 g of protein. It is possible that, in the present study, food eaten off the premises has been underestimated. Such intake can sometimes account for more than 1/3 of the total, as been noted in Peruvian Amazonia (King and Levey, 1982). It occurs in the fields or during visits to neighbours, when banana soup (*chucula*), or fruit and berries collected along the way, are consumed. This source of error has been minimized, although not entirely eliminated, by questioning individuals about this intake, and by making allowances for it in the final calculations.

The differences between settlers and Indians are indisputable as far as the nature and origin of the food is concerned. The settlers' preference for cash crops enables them to meet their protein and energy requirements, but only by resorting to the purchase of inexpensive food items such as rice, pasta, sugar and food rich in energy and fat. In contrast to settlers in the Brazilian Amazonia, those in Napo cultivate and consume little cassava (Smith, 1977). Their own food production does not provide the complementary nutritional elements they need. Whereas in their home provinces the immigrants would normally have enjoyed two courses plus some soup, in this jungle they are reduced to poor and monotonous one-course meals (Arias and Guevara, 1985). Such impoverishment can be observed among peasants undergoing a process of change (Robson, 1976), and contributes to the

nutritional imbalance of their diet. The self-sufficient Siona-Secoya, on the other hand, buy no food in the market and are thus unaffected by its limitations. Hunting and fishing contribute 73% of these Indians' protein, but only 17% of their energy. These relationships highlight the essential role of fishing and hunting in the nutritional balance of their food intake. Nevertheless, resources of game and fish vary greatly from one season to another and a decline in the wildlife population has been noted, perhaps because of an overuse of firearms (Vickers, 1976). It should also be emphasized that the abundance and distribution of the wildlife population varies greatly from one part of the Amazon to another; the availability of animal protein is even suboptimal for certain Amerindian groups (Gross, 1975). Despite these limitations, by combining hunting, fishing and horticulture, the Siona-Secoya can arrive at an excellent nutritional blend: on the one hand the crops providing their energy are sure and stable, on the other their intake of animal products provides extra protein, iron, thiamin, niacin and retinol. The intake of fat is low (11% of total energy). This deficit has already been noted by Vickers, who found an intake equivalent to 12% of total energy in his study. He reported that the scarcity of fat was clearly perceived by the Sionas-Sécoyas, who searched for foods which were rich in it (*chonta*, tortoise eggs, fatty monkeys).

Results concerning important nutrients such as vitamins, calcium and iron, for example, are not presented since they are greatly influenced by consumption outside the family or by seasonal fluctuations. It should be said, however, that *a priori* the Siona-Secoya obtain a lot of vitamins A and C from their large consumption of *Chonta* or peach palm, and pawpaw, which are rich in carotenoids. Gathering helps raise the nutritional quality of their food intake. Plants gathered are numerous and varied: a recent inventory showed 166 dietary plants consumed by the various ethnic groups of Ecuadorian Amazonia (Lescure, Baslev and Alarcon, 1987).

Without a doubt, health, nutritional, and child growth discrepancies between the Indian and settler communities are largely connected to their mode of subsistence. The efficiency of farming systems should be examined not only in terms of agricultural productivity but they should also be considered with regard to their abilities to satisfy basic nutritional needs and to maintain the physical integrity of individuals. With this point of view, it can in no way be said that the Siona-Secoya's life style is inferior to that of the settlers on the nutritional plane; and it may be feared that a move toward the settlers' diet (less fibre and carbohydrate, more fats) would introduce new nutritional problems (Robson, 1977). It is striking that the Sionas-Secoyas use five times less land than the settlers to obtain these results. This economy of means is made possible by their excellent knowledge of their surroundings and their skill in managing these resources. However, for their subsistence system to work, the area available to them must be not only vast enough for fertile plots of land to be selected while others remain fallow, but also include a large, riverside reserve for hunting and fishing. At present, there is severe competition between settlers and indigenous groups for the use of land. An estimated 14% — 458,000 ha deforested out of 1,638,000 colonized — of all land below 600 m will soon have been cleared. The survival of the Siona-Secoya as a group is challenged by these changes.

In this context of rapid environmental change the efficiency of Siona-Secoya subsistence activities must be appreciated, and used as a guide in the search for an original approach to their regional development and integration.

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Zoila Romo-Nunez for carrying out the food consumption surveys and Leyda Bénéfice-Rios for the computer program to convert the basic food data to daily intake. Thanks are also due to the settler and Siona-Sécoya families who endured so pleasantly our tedious surveys and to our colleague Jean Paul Lescure for his kind assistance.

REFERENCES

- Arias, M., and F. Guevara (1985). *Determinacion de la cocina popular tradicional del Ecuador*. Facultad de Nutricion y Dietetica, Riobamba. pp. 1-13
- Barral, H. (1978). *Informe sobre la colonizacion en la provincia del Napo y las transformaciones en las sociedades indigenas*. Ministerio de Agricultura y Ganaderia, Quito. pp. 1-250.
- Barral, H. (1987). *Analisis de los diversos tipos de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana (Provincia del Napo): Tipologia y estudios de casos 1983-1985*. Ministerio de Agricultura y Ganaderia, Quito. pp. 1-152.
- Beckerman, S. (1979). The abundance of protein in Amazonia: A reply to Gross. *Am. Anthropol.* 81, 533-560.
- Berlin, E.A., and E.K. Markell (1977). An assessment of the nutritional and health status of an Aguarana Jivaro community, Amazonas, Peru. *Ecol. Food Nutr.* 6, 69-81.
- Bourée, P., P. David, D. Basset, O. Coco, B. Beauvais, M. David-Julien and A. Pougnet (1984). Enquête épidémiologique sur les parasitoses intestinales en Amazonie Péruvienne. *Bull. Soc. Path. Exo.* 77, 690-698.
- Bourée, P., P. David, O. Coco and M.C. David-Julien (1985). Influence des transformations socio-économiques sur l'état nutritionnel des enfants de la tribu Cashibo (Amazonie Péruvienne). *Bull. Soc. Path. Exo.* 78, 101-109.
- Cabannes, R., G. Larrouy and J. Ruffié (1964). Etude clinique et hématologique des Indiens du Haut-Oyopoch et du Haut-Maroni (Guyane Française) Oyampi, Emerillon, et Ocuyara. *Bull. Soc. Path. Exo.* 57, 307-325.
- Chagnon, N., and R. Hames (1979). Protein deficiency and tribal warfare in Amazonia: New data. *Science* 203, 910-913.
- Chernela, J., and V. Thatcher (1989). Comparison of parasite burdens in two native Amazonian populations. *Med. Anthropol.* 10, 279-285.
- Collis, W.R., J. Dema and A. Omolulu (1962). On the ecology of child health and nutrition in Nigerian villages. 1. Environment, population and resources. *Trop. Geogr. Med.* 14, 140-163.
- Cronk, C.E., and A.F. Roche (1982). Race- and sex-specific reference data for triceps and subscapular skinfolds and weight/stature². *Am. J. Clin. Nutr.* 35, 347-354.
- Dricot-D'Ans, Ch., and J.M. Dricot (1978). Influence de l'acculturation sur la situation nutritionnelle en Amazonie Péruvienne. *Ann. Soc. Belg. Méd. Trop.* 59, 39-48.
- Eveleth, P., and J.M. Tanner (1976). *Worldwide Variation in Human Growth*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fagundes-Neto, U., R. Baruzzi, J. Wehba, W. Silvestrini and M. Moraes (1981). Observations of the Alto Xingu Indians (Central Brazil) with special reference to nutritional evaluation in children. *Am. J. Clin. Nutr.* 34, 2229-2235.
- Feachem, R.G.A. (1977). Environmental health engineering as human ecology: An example from New Guinea. In T. Bayliss-Smith and R.G.A. Feachem (Eds.), *Subsistence and Survival: Rural ecology in the Pacific*. Academic Press, New York, pp. 129-182.
- Foxman, B. (1984). Health status of migrants. *Hum. Biol.* 56, 129-141.
- Frisancho, A.R., and P.N. Flegel (1982). Relative merits of old and new indices of body mass with special reference to skinfold thickness. *Am. J. Clin. Nutr.* 36, 697-699.
- Giugliano, R., L. Guigliano and R. Shrimpton (1981). Estudos nutricionais das populações rurais da Amazônia. I. Varzea do rio Solimões. *Acta Amazonica* 11, 773-788.
- Gross, D.R. (1975). Protein capture and cultural development in the Amazon basin. *Am. Anthropol.* 77, 526-549.
- Habicht, J.P., R. Martorell, C. Yarbrough, R. Malina and R. Klein (1974). Height and weight standards for preschool children. How relevant are ethnic differences in growth potential? *Lancet* 1, 611-614.
- Hamill, P.V.V., T.A. Drizd, C.L. Johnson, R.B. Reed, A.F. Roche and W.M. Moore (1979). Physical growth: National Center for Health Statistics percentiles. *Am. J. Clin. Nutr.* 32, 607-629.
- Hill, K., K. Hawkes, M. Hurtado and H. Kaplan (1984). Seasonal variance in diet of Ache hunter-gatherers in Eastern Paraguay. *Hum. Ecol.* 12, 101-135.
- Hollander, M., and D.A. Wolfe (1973). *Nonparametric Statistical Methods*. Wiley, New York.

- Jerome, N.W., G.H. Pelto and R.F. Kandel (1980). An ecological approach to nutritional anthropology. In N.W. Jerome, R.F. Kandel and G.H. Pelto, (Eds.), *Nutritional Anthropology: Contemporary approaches to diet and culture*. Redgrave, New York, pp. 13-45.
- Kaplan, J., J. Larrick, J. Yost, L. Farrell, H. Greenberg, K. Herrmann, A. Sulzer, K. Walls and L. Pederson (1980). Infectious disease patterns in the Waorani, an isolated Amerindian population. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 29, 298-312.
- Keller, W. (1988). The epidemiology of stunting. In: J.C. Waterlow, (Ed.), *Linear growth retardation in less developed countries. Nestlé Nutrition Workshop Series*, Vol. 14. Raven Press, New York. pp. 17-34.
- King, M. (1973). *A Medical Laboratory for Developing Countries*. Oxford University Press, London.
- King, S., and A. Levey (1982). Observaciones de la dieta de los Angotero-Secoya del Norte del Peru. *Amazonia Peruana* 3, 27-38.
- Kroeger, A. (1980). Housing and health in the process of cultural adaptation. A case study among jungle and highland natives of Ecuador. *J. Trop. Med. Hyg.* 83, 53-69.
- Kroeger, A., and B. Freedman (1984). *Cambio cultural y salud con especial referencia a los Shuar-Achuar*. Mundo Shuar, Quito. pp. 5-71.
- Larrick, J., J. Yost and J. Kaplan (1979). Patterns of health and disease among the Waorani indian in Eastern Ecuador. *Med. Anthropol.* 3, 147-189.
- Lawrence, D.N., J. Neel, S. Abadie, L. Moore, J. Adams, G. Healy and J. Kagan (1980). Epidemiologic studies among Amerindian populations of Amazonia. III. Intestinal parasitosis in newly contacted and acculturating villages. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 29, 530-537.
- Lescure, J.P., H. Baslev and R. Alarcon (1987). *Plantas utiles de la Amazonia ecuatoriana. Un inventario critico de los datos disponibles en Quito*. Ministerio de Agricultura y Ganaderia, Quito. pp. 1-405.
- Lopès-Aguar, J.P., A.H. Marinho, Y.S. Rebêlo and R. Shrimpton (1980). Aspectos nutritivos de alguns frutos da Amazônia. *Acta Amazonica* 10, 755-758.
- Milton, K. (1984). Protein and carbohydrate resources of the Maku indians of Northwestern Amazonia. *Am. Anthropol.* 86, 7-27.
- Oomen, H.A. (1971). Ecology of human nutrition in New-Guinea. Evaluation of subsistence patterns. *Ecol. Food Nutr.* 1, 3-18.
- Robson, J.R. (1976). Commentary: Changing food habits in developing countries. *Ecol. Food Nutr.* 4, 251-256.
- Robson, J.R. (1977). The health and nutritional status of primitive populations. *Ecol. Food Nutr.* 6, 187-202.
- Schwartz, D. (1977). *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Flammarion médecine-sciences, Paris.
- Shrimpton, R., and R. Giugliano (1979). Consumo de alimentos e algunos nutrientes em Manaus. Amazonas, 1973-4. *Acta Amazonica* 9, 117-141.
- Smith, N.J. (1977). Influências culturais e ecologicas na produtividade agricola ao longo da transamazônica. *Acta Amazonica* 7, 23-38.
- Trowbridge, F.L., J.S. Maks, G. Lopez de Romana, S. Madrid, T.W. Boutton and P.D. Klein (1987). Body composition of Peruvian children with short stature and high weight-for-height. II. Implications for the interpretation for weight-for-height indicator of nutritional status. *Am. J. Clin. Nutr.* 46, 411-418.
- Uquillas, J.E. (1988). Expansion du front pionnier et Amérindiens en Amazonie équatorienne. In J.L. Guillaumet and J.P. Lescure (Eds.), *Connaissance du milieu amazonien*. Institute Français de Recherches Scientifiques pour le Développement en Coopération, Paris. pp. 93-110.
- Vickers, W.T. (1976). *Cultural adaptation to Amazonian habitat: The Sionas-Secoyas of Eastern Ecuador*. PhD. Thesis, University of Florida, Miami. pp. 1-348.
- Waterlow, J.C. (1972). Classification and definition of protein-energy malnutrition. *Br. Med. J.* 3, 566-569.
- Whitten, N.E. (1981). La Amazonia actual en la base de los Andes: una confluencia etnica en la perspectiva ecologica, social y ideologica. In N.E. Whitten (Ed.), *Amazonia Ecuatoriana. La otra cara del progreso*. Mundo Shuar, Quito. pp. 12-58.
- WHO Working Group (1986). Use and interpretation of anthropometric indicators of nutritional status. *Bull. WHO.* 64, 929-941.
- Wu Leung, W.T., and M. Flores (1961). *Food Composition Table for Use in Latin America*. Institute of Nutrition for Central America and Panama, Guatemala.

International Journal of Sports Medicine

Supported by the German Society of Sports Medicine

Editors-in-Chief:

D. Costill, Muncie, Ind. (USA)
B. Dufaux, Köln (FRG)
H. Kuipers, Maastricht (NL)

**Editor responsible
for supplements:**

H. Weicker, Heidelberg (FRG)

Assistant Editor:

H.-J. Appell, Köln (FRG)

Editorial Board:

P. Cerretelli, Genève (CH)
E. F. Coyle, Austin (USA)
C. Foster, Milwaukee (USA)
H. Freund, Strasbourg (F)
H. Galbo, Copenhagen (DK)
J. Hagberg, Baltimore (USA)
W. Hollmann, Köln (FRG)
H. Hoppeler, Bern (CH)
M. E. Houston, Ontario (CDN)
H. A. Keizer, Maastricht (NL)
H. C. G. Kemper, Amsterdam (NL)
H. Knuttgen, University Park (USA)
P. Komi, Jyväskylä (SF)
P. Lijnen, Leuven (B)
H. Löllgen, Remscheid (FRG)
B. Marti, Zürich (CH)
R. J. Maughan, Aberdeen (GB)
M. Miyashita, Tokyo (JAP)
K. Nazar, Warszawa (PL)
T. Noakes, Cape (SA)
R. Pate, Columbia (USA)
J. R. Poortmans, Bruxelles (B)
E. Pyke, Wollongong (AUS)
D. Schmidtbleicher, Freiburg (FRG)
J. Stegemann, Köln (FRG)
P. Thompson, Providence (USA)
A. Viru, Tartu (USSR)

Reprint

© Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York
Reprint with the permission of the publishers only

minutes in both children and adults, at least at low and moderate work loads (8, 13). The strict linearity of the VO_2 -work load relationship in both groups of subjects across the full range of workloads implies that a reasonable and equivalent degree of steady state was achieved at all stages.

2) In this study it must be assumed that any increases in non-muscular metabolic processes accompanying exercise are similar in both boys and men.

3) Energy available for muscle work is gained from both aerobic and anaerobic metabolic sources. The calculation of efficiency considers only aerobic cost, and the anaerobic contribution, which is more difficult to estimate, is ignored. The capacity for generating anaerobically derived energy is greater in adults than children, as evidenced by the fact that lactate production may be one-half as great in prepubertal subjects than older individuals at equal relative exercise intensities (3, 5). The influence of differences in anaerobic capacity on measurements of efficiency of muscular contraction during exercise in men and boys is problematical.

References

- ¹ Astrand P. O.: *Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age*. Copenhagen: Munksgaard, 1952.
- ² Bal M. E. R., Thompson E. M., McIntosh E. M., Taylor C. M., MacLeod G.: Mechanical efficiency in cycling of girls six to fourteen years of age. *J Appl Physiol* 6: 185-188, 1953
- ³ Bar-Or O.: *Pediatric Sports Medicine for the Practitioner*. New York: Springer-Verlag, 1983, pp 1-65
- ⁴ deVries H.A.: *Physiology of Exercise for Physical Education and Athletics*. Dubuque, Iowa: William C. Brown Company, 1974, pp 406-418.
- ⁵ Eriksson B. O., Karlsson J., Saltin B.: Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand Suppl.* 217: 154-157, 1971.
- ⁶ Gaesser G. A., Brooks G. A.: Muscular efficiency during steady rate exercise: effects of speed and work rate. *J Appl Physiol* 38: 1132-1139, 1975.
- ⁷ Girandola R. N., Wiswell R. A., Frisch F., Wood K.: Metabolic differences during exercise in pre- and post-pubescent girls (abstract). *Med Sci Sports Exerc* 13: 110, 1981
- ⁸ Godfrey S.: *Exercise Testing in Children*. London: W. B. Saunders Company, 1974.
- ⁹ Klausen K., Rasmussen B., Glensgaard L. K., Jensen O. V.: Work efficiency of children during submaximal bicycle exercise. In: *Children and Exercise XI*, R. A. Binkhorst, H. C. G. Kemper, and W. H. M. Saris (Eds.) Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1985, pp 210-217.
- ¹⁰ McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L.: *Exercise Physiology. Energy, Nutrition, and Human Performance*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1981, p 101.
- ¹¹ Rowland T. W., Auchinachie J. A., Keenan T. J., Green G. M.: Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med* 8: 292-297, 1987.
- ¹² Selkurt E. E.: *Physiology*. Boston: Little, Brown and Company, 1963, p 577.
- ¹³ Sietsema K. E., Cooper D. M., Perloff J. K., Rosove M. H.: Dynamics of oxygen uptake during exercise in adults with cyanotic congenital heart disease. *Circulation* 73: 1137-1144, 1986.
- ¹⁴ Stainsby W. N., Gladden L. B., Barclay J. K., Wilson B. A.: Exercise efficiency: validity of baseline subtractions. *J Appl Physiol* 48: 518-522, 1980.
- ¹⁵ Taylor C. M., Bal M. E. R., Lamb M. W., MacLeod G.: Mechanical efficiency in cycling of boys seven to fifteen years of age. *J Appl Physiol* 2: 563-570, 1950.
- ¹⁶ Thompson E. M.: *A Study of the Energy Expenditure and Mechanical Efficiency of Young Girls and Adult Women* (Dissertation). New York City: Columbia University, 1940.
- ¹⁷ Whipp B. J., Wasserman K.: Efficiency of muscular work. *J Appl Physiol* 26: 644-648, 1969.

Thomas W. Rowland, M.D.

Department of Pediatrics
Baystate Medical Center
759 Chestnut Street
Springfield, MA 01105

Differences in Aerobic and Anthropometric Characteristics Between Peripubertal Swimmers and Non-Swimmers

E. Bénéfice*, J. Mercier**, M. J. Guérin**, Ch. Préfaut**

*Present address: ORSTOM, Laboratoire de Nutrition, B. P. 1386, Dakar, Sénégal

**Service d'Exploration de la Fonction Respiratoire, Hôpital Aiguelongue, Montpellier, 34059 cedex, France

Abstract

E. Bénéfice, J. Mercier, M. J. Guérin, and C. Préfaut. Differences in Aerobic and Anthropometric Characteristics Between Peripubertal Swimmers and Non-Swimmers. *Int J Sports Med*, Vol 11, No 6, pp 456-460, 1990.

Accepted after revision: March 12, 1990

In order to judge the effect of moderate sports training on the anthropometric characteristics and aerobic capacity of boys before and during puberty, a comparative study was conducted of 140 children, 94 of whom were not undergoing any specific training and 45 of whom were spending more than 3 hours a week practising swimming. The boys were divided into three maturity groups according to pubic hair status: prepubertal, pubertal, and end of puberty. The study shows greater maximal oxygen uptake in absolute terms, body weight, lean body mass, chest circumference, arm circumference, and arm muscle area for the swimmers. The morphological differences between the swimmers and non-swimmers concern physical characteristics generally involved in swimming. The difference in aerobic capacity, however, may be in part due to the morphological changes engendered by training; a longitudinal study would confirm this. It is suggested that anthropometric indicators of arm muscles may be used in the biological supervision of swimming training.

Key words

Anthropometry, maximal aerobic uptake, swimming, training

Introduction

The effects of intensive regular training on the anthropometric and aerobic characteristics of children are a matter of debate. In a recent article Bar-Or has shown the observed effects of training on maximal oxygen uptake

($\dot{V}O_2\max$) to be less than expected (3). Similarly, the real effects of regular training on morphological status are difficult to evaluate (2, 4, 20). This may be due to the fact that changes linked to growth (1) and spontaneous physical activity (21), which are complex and interwoven factors, are difficult to differentiate.

The effects of moderate regular training have not been studied up to now. Nevertheless, with more and more children taking up a regular sport, it has become important to know the effects of moderate regular sport training on anthropometric and aerobic development.

The aims of this study were twofold: 1) to describe the differences in aerobic capacity and anthropometric characteristics associated with moderate regular swimming in children prior to and in the early stages of puberty as compared to non-swimmers, and 2) to define any relationship which might exist between these aerobic and anthropometric features.

Subjects and Methods

Subjects

The study included 140 boys aged from 10 to 15 years who were divided into 2 groups according to their athletic habits, not including regular physical education (3 hours a week). Group 1 consisted of 95 schoolboys who practiced no regular sport. All children practising or having practised a sport for more than 4 hours weekly were eliminated from this group. Group 2 consisted of 45 children who were members of 3 municipal swimming clubs and had been competing at a regional level for at least 2 years. They trained regularly at an aerobic level 3 to 5 times a week for 2 hours each session. Interviews allowed us to quantify the extra-curricular athletic activity of the controls and the training of the swimmers. Socio-economic factors were evaluated by directly interviewing the children or by information collected from the schools and club trainers. All these children were from a similar social background and of a similar academic level. Examination of official health records allowed us to determine retrospectively the peak height growth. After careful clinical and electrocardiographical examination, only children in excellent health were included in the survey. Their parents' written permission was obtained as well as the approval of the National Ethical Committee.

Stage of Development

The level of pubertal maturation was assessed by inspecting pubic hair according to Tanner's five stages (22). Each group was subdivided into 3 maturational groups. These were: prepubertal (Stage I), pubertal (Stages II and III), and end of puberty (Stages IV, V) (Table 1).

Anthropometric Characteristics

The following measurements were taken: weight, height, upper arm circumference, upper thigh circumference, maximal calf circumference, chest circumference (in expiration), and bicipital, tricipital, subscapular, and suprailliac skinfold thickness. All these measurements were taken by the same observer in the positions and following the techniques established by the International Biological Programme (25).

Brook's equations (5) were used to estimate body density on the basis of 4 skinfold thickness measurements, and Siri's formula (8) was used to determine the fat body mass proportion. Lean body mass was calculated by subtracting fat body mass from the total body mass. Gurney and Jelliffe's formulas (11) were used to determine arm muscle structure:

Muscular Circumference = Circumference of the arm - $\pi \times$ Tricipital Skinfold.

Muscular Area = (Muscular Circumference) $2/4 \pi$

Maximal Effort Test

An ergometric bicycle with an electromagnetic brake was used to test maximal effort (EPC 7701, Gauthier). The children breathed through a low-resistance valve (Hans Rudolph). Inspiratory airflow was measured during exercise with a pneumotachograph (Fleisch n°3) and a Validyne MP 45 pressure transducer with a measuring range of ± 27 cm H₂O. The pneumotachograph was placed on the inspiratory tubing in order to avoid problems due to water vapor. Calibration of the flow module was accomplished by introducing a calibrated volume of air at several flow speeds. Expired gases were sampled in a mixing box (5 liters) and analyzed for O₂ with a polarographic analyzer (Beckman OM 11) and for CO₂ with an infrared analyzer (Cosma Diamant 6000). Each gas analyzer was calibrated before and after each test according to standard gases. Inspiratory airflow and the fractions of expired O₂ and expired CO₂ (FECO₂) were processed by a computer which calculated: minute ventilation (VE), oxygen uptake (VO₂), CO₂ production (VCO₂), respiratory ratio (R), and ventilatory equivalent for O₂ (VE/VO₂) and CO₂ (VE/VCO₂) from ten ventilatory cycles. During the exercise, the heart rate was continuously recorded with a cardiograph (Simonsen and Weel).

A continuous progressive protocol was used; after 3 minutes of warming up at a load of 30 watts, the work load was increased until exhaustion. For the younger children the work load was increased by 20 watts each minute and for the older children by 30 watts each minute. The children were to maintain a constant pedalling rate of 50 rpm to the best of their ability and were actively encouraged periodically throughout the test. We considered that the value of maximal oxygen uptake was obtained when 3 of the following criteria

were observed: 1) the stabilization of oxygen uptake in spite of the increase of work load, 2) a heart rate close to its maximal value, 3) a respiratory exchange ratio > 1.1 , and 4) the inability of the subject to maintain a pedalling rate of 40 rpm.

Statistical Analysis

Training and maturational stages were accounted for when the anthropometrical and physiological changes were analyzed. Thus, for each measurement a two-way analysis of variance (ANOVA) was performed by means of the 2V program from the BMDP computer package (BMDP Statistical Software, Inc.).

Results

Table 1 shows that for a given maturational stage there are no significant differences in age among the children: the swimmers were not found to be precocious or late in reaching puberty in comparison with the non-swimmers. There was also no interaction between maturity and the number of weekly hours of training.

Table 2 shows measurements taken for each group. The values increased with maturational stages, except for fat body mass, which decreased slightly. In general, values for subjects undergoing training tended to be higher than for the others. A significant difference was observed for body weight, arm and chest circumference, and muscle mass indicators, that is, lean body mass and arm muscle area.

Table 3 shows changes in the children's aerobic capacity in absolute terms, which increased with maturational stages and which differed with the intensity of the physical activity undertaken. When VO₂max was expressed as a function of weight or of lean body mass, the differences linked to maturational stages disappeared, but those connected with the activity remained. When VO₂max was expressed in arm muscle area units, however, no differences remained, with respect to maturational stages or with respect to activity.

Discussion

In the sample studied, there was no interaction between the maturational status and either the practice of swimming or the amount of training. However, for all three maturational groups, these results showed the young swimmers to have greater aerobic capacity, greater arm and chest circumference, and greater body weight, and muscular mass than the children not undergoing training.

The increase in VO₂max remained limited to 10% for the prepubertal swimmers, and 15% for those at the end of puberty. These figures are slightly lower than those of 15%–20% obtained from longitudinal surveys (9, 14, 19). However, these studies highlighted the effects of training on children just prior to, or during, puberty with maximal impact during peak height growth velocity, whereas for this study only 15 children were in their period of peak height growth. The amount of physical training may also play an important role: a 16% to 17% difference was noted for children undergoing 14 hours of training each week (18). In our case, even small increases in aerobic capacity are worth stressing as the children

Table 1 Age status and training quantities of boys by pubertal stages and physical activity groups

Pubertal groups (1)		PH2		PH2-PH3		PH4-PH5		Two-way analysis of variance between pubertal groups	
Training groups (2)		I = 44 II = 22		I = 26 II = 13		I = 25 II = 10		between pubertal groups	between training groups
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	F	F
								P	P
Age (years)	I	12.1	1.2	13.4	1.2	14.3	1.0	55.7 *** (3)	0.1 NS
	II	11.7	1.0	13.6	1.3	14.7	0.7		
Training quantity (hours/week)	I	1.7	1.1	1.4	1.1	1.7	1.2	2.04 NS	149.29 ***
	II	5.0	1.1	5.2	1.4	6.3	4.2		

(1) Pubic Hair stages (PH) according to Tanner's classification (24)

(2) Group I: 3 hours/week physical education, group II: 6 to 10 hours/week swimming training

(3) *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, NS: non-significant.**Table 2** Anthropometric measures of boys by pubertal stages and physical activity groups

Pubertal groups (1)		PH1		PH2-PH3		PH4-PH5		Two-way analysis of variance between pubertal groups	
Training groups (2)		I = 44 II = 22		I = 26 II = 13		I = 25 II = 10		between pubertal groups	between training groups
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	F	F
								P	P
Body weight (kg)	I	39.1	8.7	48.9	7.9	55.5	9.6	52.5 *** (3)	3.6 *
	II	40.5	6.5	49.1	7.9	63.0	9.2		
Height (cm)	I	147.0	9.7	157.8	8.6	166.7	9.7	51.0 ***	1.9 NS
	II	149.1	8.3	159.8	8.1	169.7	6.7		
Upper arm circumference (cm)	I	20.9	2.4	23.3	1.9	23.6	1.8	30.3 ***	5.21 *
	II	21.6	1.4	22.6	1.9	26.4	3.1		
Upper thigh circumference (cm)	I	43.7	4.8	48.2	3.9	49.0	3.8	21.1 ***	3.43 NS
	II	45.3	4.7	47.7	4.0	52.2	4.3		
Maximal calf circumference (cm)	I	29.7	3.0	32.6	1.9	33.7	2.7	29.9 ***	0.5 NS
	II	30.0	1.8	32.3	2.5	34.7	2.6		
Chest circumference (cm)	I	66.0	5.2	71.5	4.2	75.1	5.0	38.3 ***	8.3 ***
	II	68.7	6.2	72.4	4.2	80.1	5.8		
Arm muscle area (cm ²)	I	25.5	5.4	32.4	5.8	36.4	6.3	62.8 ***	11.4 ***
	II	27.4	3.8	31.9	5.2	46.1	9.8		
Fat body mass (%)	I	0.190	0.051	0.190	0.054	0.160	0.057	4.3 **	0.1 NS
	II	0.200	0.047	0.170	0.057	0.170	0.040		
Lean body mass (kg)	I	31.1	6.4	39.1	6.2	46.4	7.9	73.7 ***	4.71 *
	II	32.2	4.8	40.5	5.7	51.7	5.8		

(1) Pubic Hair stages (PH) according to Tanner's classification (24)

(2) Group I: 3 hours/week physical education; group II: 6 to 10 hours/week swimming training

(3) *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$, NS: non-significant.

concerned were younger and trained at a lower level than that of the studies quoted.

In our study, there is no significant difference of height between the swimmers and non-swimmers. This finding agrees with the literature (4, 23). For fat body mass, the use of skinfold thickness measurements is advised for children (5,

8, 10). As in the study of Cronk et al. (7), we observed a decrease of fat body mass at the end of puberty. It may be said, therefore, that physical activity has no real effect on morphological growth (2). Similarly, the swimmers did not mature earlier than the non-swimmers. However, the children who swam were shown to possess specific morphological traits: greater chest circumference, lean body mass and arm muscle area. The

Table 3 Absolute and relative values of $\dot{V}O_2\text{max}$ of boys by pubertal stages and physical activity groups

Pubertal groups (1)	Training groups (2)	PH1		PH2-PH3		PH4-PH5		Two-way analysis of variance	
		I = 44 II = 22		I = 26 II = 13		I = 25 II = 10		between pubertal groups	between training groups
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	F P	F P
$\dot{V}O_2\text{max}$ ($l \cdot \text{min}^{-1}$)	I	1.8	0.4	2.2	0.5	2.6	0.5	49.0 *** (3)	17.8 ***
	II	2.0	0.4	2.5	0.3	3.1	0.4		
$\dot{V}O_2\text{max}/\text{kg weight}$ ($\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	I	46.7	8.2	45.6	6.3	46.7	4.9	0.3 NS	9.6 ***
	II	49.1	6.4	52.2	5.8	49.6	6.1		
$\dot{V}O_2\text{max}/\text{kg LBM}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	I	58.2	8.8	57.0	7.3	55.9	6.5	0.7 NS	9.92 ***
	II	61.6	7.2	63.1	7.7	60.1	7.0		
$\dot{V}O_2\text{max}/\text{AMA}$ ($\text{ml} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)	I	71.2	11.2	69.4	11.4	71.5	10.6	1.1 NS	2.45 NS
	II	73.6	18.4	80.5	9.7	69.1	13.2		

(1) Pubic Hair stages (PH) according to Tanner's classification (24)

(2) Group I: 3 hours/week physical education; group II: 6 to 10 hours/week swimming training

(3) *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$, NS non-significant.

aim of physical training is to provoke the biological adaptations that contribute the most to fulfilling the required task (17). For swimming, this means floating in a horizontally balanced position while propelling oneself and combatting resistance. The increase in lean body mass corresponds to the need for muscular strength. The increase in chest circumference may be seen as a response to the breathing restrictions and hypoventilation imposed by swimming (10); in addition, it increases the buoyancy of the human body. Finally, propulsion in free-style swimming is mainly the work of the upper members, which operate as an airscrew (15), while the lower members are mainly concerned with maintaining horizontal equilibrium. Hence, the observed anthropometric developments in the young swimmers may be seen as specific, adaptational responses to the constraints imposed by their activity. Such developments have been documented for adolescents beyond puberty and for young adults (6, 23, 26), but little has been known about younger children, or of those less involved in competition, as those covered in this study.

Body weight and/or lean body mass, representing the active muscular mass (1), is often used to express $\dot{V}O_2\text{max}$ in a relative way in order to compare different age groups. This was the case here, where differences connected with age disappeared, while those linked to physical training remained. Swimmers, however, do not have to support their weight, so their $\dot{V}O_2\text{max}$ ought to be expressed as a function of their total weight or lean body mass in water (10). More precise expressions of $\dot{V}O_2\text{max}$ should be found. Anthropometric indicators for the arm, such as muscle mass area, are considered to be good approximations of total muscle mass (12). They have been validated by tomodensitometry (13), and in children are highly correlated to urinary excretion of creatinine (24). Our results showed that, when $\dot{V}O_2\text{max}$ was expressed per unit of muscular area, the difference between swimmers and non-swimmers ceased to exist. The difference in aerobic capacity between the two groups appears to be linked to the difference in muscle mass, which in this study is much more evident for the upper members (arm circumference, arm mus-

cle area) than the lower members (thigh and calf circumference).

It is obvious that exercise on a ergometric bicycle uses predominantly the lower member muscle groups, therefore a test should be performed involving the upper members in order to confirm the dominant role of the arms in expressing the swimmers' aerobic strength. For practical reasons, however, use of the bicycle is both standard and satisfactory. Given the fact that at high-load-level not only the legs but also the arms are involved, it is possible to standardize $\dot{V}O_2\text{max}$ by arm surface area. The reason for using muscular area rather than muscular circumference to gauge the muscular structure of the arm was twofold: 1) muscular area amplifies variations more than circumference does (11), and 2) it represents the force developed better, which, according to the dimensions theory, is proportional to the area of the muscle section (1).

The aerobic and anthropometric differences reported in this paper may be a consequence of training. Several longitudinal studies of more intensively trained subjects support this interpretation. However, this is a transversal study, and there is the possibility that these differences existed before training began. Although this possibility is unlikely, it would be best eliminated by a longitudinal study.

In conclusion, this study shows that children having undergone regular swimming training have aerobic and anthropometric characteristics significantly different from the non-swimmers. Such differences are slight and do not seem to influence the children's normal growth and maturation. These differences can be considered beneficial and may favour the early practice of regular sport. These results also have a practical aspect: they draw attention to the specific differences brought about by a given sport on the desired muscular groups. Hence, simple anthropometric indicators may be elaborated for biological supervision of on-the-field training, such as arm muscle area in the case of swimming.

**NUTRITIONAL STATUS AND DEVELOPMENT OF WORKING CAPACITY OF
PRESCHOOL SENEGALESE CHILDREN.**

WORKING CAPACITY OF SENEGALESE CHILDREN.

Eric BENEFIGE, MD

A paraître dans "**Early Child Development and Care**". Vol 73.

Institut Français de Recherches pour le Développement en Coopération (ORSTOM).
Nutrition Department
Centre de Dakar
BP 1386 Dakar, Sénégal (West Africa).

This work was supported by the "Maladies de la Dénutrition" research unit of the ORSTOM.

ABSTRACT

Anthropometric measurements and a sub-maximal effort step-test were recorded three times in one year for a sample of 88 Senegalese children aged between 3 and 6. These children all came from a rural area where nutritional situation is poor. The values significantly improved from one visit to the next, but, in comparison to European or North American standards, somatic growth is retarded, muscular mass is weaker, and cardio-respiratory adaptation to effort is less.

Taking as a malnutrition threshold a height-for-age and a height-for-weight less than -1 standard deviation from the N.C.H.S./W.H.O reference, one concludes that wasted and small for age children register poorer aerobic performance than well nourished children.

These observations stress the importance of nutritional conditions in the somatic and functional development of African children. Study of these relationships is essential to a better understanding of the gravity and consequences of chronic undernutrition.

Key words: Anthropometry, Working capacity, Protein-energy malnutrition, Sénégal.

INTRODUCTION

Malnutrition poses a constant threat to the normal development of West African children, slowing down their growth rate and diminishing their body mass, thus limiting their functional abilities. In an earlier article, it was pointed out that slightly undernourished Senegalese children realized lower scores in motor tests than normal children did (Bénéfice, 1990). Cardio-respiratory endurance is another area of physical fitness which needs to be investigated.

The study of the relationship between body size and aerobic capacity in protein energy malnutrition (P.E.M.) has led to research on adolescents and schoolchildren. This has shown that, in absolute terms, a drop in body mass resulting from undernutrition incurs a reduction in working capacity (Areskog, 1971; Davies, 1973; Satyarayana et al, 1979). Observed differences between normal and undernourished children disappear, however, when working capacity is expressed per unit of body mass: slightly undernourished children may even have a higher working capacity per kg than normal ones (Spurr et al, 1983). The most common conclusion is not that malnutrition has no effect on aerobic performance, but rather that it has no qualitative effect on muscular functioning (Satyarayana et al, 1979; Desai et al, 1981; Spurr et al, 1988). It should be noted that other factors may work together with malnutrition to modify children's working capacity, e.g. anaemia (Davies, 1973; Bhatia and Seshadri, 1987) and habitual physical activity (Satyarayana et al, 1979).

Despite these studies, knowledge of the relationship between physical growth and aerobic development in children exposed to denutrition remains sketchy: practically nothing is known about the development of undernourished preschool children. As far as can be ascertained, just one work, that of Ferro-Luzzi et al in Southern Italy (1979), has given particular attention to this group, and no research has been undertaken in Africa where malnutrition is so prevalent.

Hence, the present report seeks to describe physical growth and working capacity development in a sample of Senegalese preschool children, and to study the impact of the nutritional status on their cardiovascular responses to exercise.

SUBJECTS AND METHODS

Milieu and Inhabitants

The area under study is situated in Western Senegal within the Sudano-sahel climatic belt characterized by a long dry season from November to June and a short rainy season from July to October. The children studied came from two villages, Diokhane and Ndongol, in Barnbey county in the centre of the country, and from Mbour, a small coastal town. The village people are ethnic wolof muslims with agriculture as their sole resource (millet and peanuts). Those from Mbour are mainly Lebou fishermen, related to the wolofs. Their basic diet is a plate of rice with fresh fish at midday, and millet or sorghum couscous mixed with sauce made from peanuts, dried or smoked fish, or niebe beans (*Vigna unguiculata*) in the evening. A large proportion of the diet is home produced. Its energy yield is low, a survey conducted a few years ago showed that the per capita average daily ration of 2200 Cal failed to cover the needs of 2/3 of the individuals (Chevassus-Agnès and Ndiaye, 1981). Prevalence of undernutrition is high, 33% - 36% of children having a weight-for-age below 80% of the World Health Organization reference (Echenber et al, 1984).

Sample

The sample consists of 88 children (44 boys and 44 girls) divided into 3 cohorts according to year of birth: those born in 1985 (n=18); those born in 1984 (n=34); and those born in 1983 (n=36). The children were examined on three different occasions between October, 1988 and November, 1989. To date, no difference in growth or nutritional condition has been noticed between village children and those from the coast, hence no account has been taken of their origin in calculations. The same applies to the difference between sexes, although readings for the girls are slightly - but not significantly - lower than for the boys. The children were chosen after a preliminary demographic census which covered each household in the selected villages. Children selected were free from clinically detectable organic afflictions and were not noticeably skinny.

The aims and methods of the survey were explained to the parents and the headmen and officials in the villages and their oral consent obtained. Examinations were conducted in the presence of a member of the child's family.

Methods

At each visit, the children underwent a clinical examination and a sub-maximal effort test; anthropometric measurements were taken and they participated in physical exercises.

When being weighed, the children wore only a pair of shorts: the electronic medical scale was exact to within 100 g. They were measured standing up with a portable anthropometer accurate to within 1 mm. Arm circumference was measured on the left side by means of an unstretchable, glass-fibre tape. Triceps skinfold thicknesses were measured with a Holtain-type caliper. All these measurements were effected by the author at sites authorized under the International Biological Program (Weiner and Lourie, 1981). Arm circumference (AM) and triceps skinfold (TSF) measurements were used to construct a muscular mass indicator according to Gurney and Jelliffe (1973).

$$\text{Arm muscle circumference (AMC)} = \text{AM} - (\sqrt{1} \times \text{TSF})$$

To measure cardio-circulatory adaptation to effort, Cermak's et al (1969) sub-maximal step-test was used, as modified for preschool children by Parizkova (1984). A stepladder with two rungs 23 cm apart was used. At the beginning of the day, the children underwent a little training in ladder climbing. The test, itself, was preceded by a 3 minutes pause in the sitting position followed by climbing at a rate of 30 rungs per minute for 5 minutes, and, finally, a 5 minutes recovery period. To maintain the rhythm, an adult accompanied the child in the test, holding its hand lightly without pulling. A metronome beat time by the second. Throughout the 13 minutes test, a "sport tester" apparatus (Polar Electro Ky, Kempele, Finland) recorded the child's heart rate (HR) every 15 seconds. This device is a heart rate monitor which records electric signals from the heart by means of an electrode fixed to the thorax with a belt, and sends them wireless to a receiver on the arm incorporating a microprocessor capable of recording the heart beat. Appropriate interfacing then transferred the HR to a microdisk for various forms of analysis by microcomputer.

The test was conducted in the shade at a cool time of the day. The actual number of steps taken by the children was counted.

The following indices were calculated. From the child's weight, the height of the steps, and the number of rungs climbed, the amount of work accomplished can be estimated:

$$\text{Work (kgf m)} = \text{Body weight (kg)} \times 0.23 \text{ (height of step in m)} \times \text{number of rungs climbed.}$$

The cardiac efficiency index (CEI) is hence defined in terms of mechanical work accomplished for each heart-beat:

$$\text{CEI} = \text{Work} / (\text{sum of HR per minute during work and recovery}). \text{ (Parizkova, 1984).}$$

The shape of the graph is also a criterion of a child's success in the test. The heart rate of an able child at rest will be low, but then rises suddenly to stabilize during the 2nd minute of climbing; furthermore, recuperation will be fast. This information can be synthesized using 2 simple indicators: the rising slope of the HR curve at the start of the exercise, and the slope of the recovery curve at the end.

The children were examined in the open air, in public and in their habitual sitting, and consequently all exposed to the same climatic and psychological conditions.

The results were analysed by means of the BMDP package (BMDP Statistical Software, Inc.). Student test, two-way analysis of variance test and analyse of covariance, were all carried out.

RESULTS

Anthropometric and Nutritional status.

When recruited, the children appeared in good health. However, as Figure 1 shows, the range of malnutrition factors-height/age (H/age) and weight-for-height (W/H) expressed as Z-scores of the National Center for Health Statistics (N.C.H.S.) reference (WHO, 1983)- differs considerably from the standard range and veers to the left towards the lower values. Almost 70% of the H/age readings and 80% of the W/H readings fall between -2 standard deviations (sd) and the median.

These proportions changed neither in the course of the visits: (H/age: Chi 2 = 13.7 for 18 ddf, not significant. W/H: Chi 2 = 24.0 for 18 df, not significant)

As previously reported (Bénéfice, 1990), these children's weight and height increase regularly but below the N.C.H.S. reference. The same applies to their muscular mass, as expressed by the AMC indice and to their fat mass, as expressed by the triceps skinfold thickness, when they are compared with international reference norms (Frisancho, 1981). See Figure 2.

Table 1 shows anthropometric parameter variations in the course of visits to the 3 cohorts. The readings for height, weight vary significantly between age groups and during the visits. AMC and TSF remain steady during the visits.

Step-test

The response to the test changes from one age group to another, and from one visit to another, and are portrayed schematically in Figure 3. To contrast the effects, the performance of 3-year-old and 5-year-old children is compared for the first visit (Figure 3, top), and the performance of younger children is contrasted between the first and last visit (Figure 3, bottom). Heart rate at rest and during recovery tends to be lower for old children than for young ones, and HR during exercise to be lightly higher, thus giving the impression that HR dynamic improves as growth progresses. However, the observed differences are not statistically significant. A similar tendency can be noticed between the first and 3rd visit.

This is, nevertheless, confirmed by the variations in cardiac efficiency index and in load which must be supported which rise significantly in function of the visit and the age group (Table 2).

Consequences of the nutritional status

To evaluate this state, the children were placed in different nutritional groups according to their H/age and W/H, taking -1 sd as the entry point for malnutrition. Three groups were constituted:

- Normal children: H/age and W/H > -1 SD (n=137).
- Wasted children: W/H < - 1 SD and H/age > -1 SD (n=55).
- Small for age children: H/age < -1 SD (n=55).

To simplify interpretation, children who were both thin and small (n=18) were included with small for age children. Since step-test parameters vary significantly from one visit to another and according to age, comparisons were made between means adjusted for age and for the order of visit by a covariance analysis. Equality of the coefficients for each covariate between groups was tested and no interaction was found.

The results of the covariance analysis are summarised in Table 3. It can be seen that the CEI of well-fed children and the loads they can endure are significantly higher than for undernourished children. The worst results stem from "stunted" children; As far as effort dynamics are concerned, there is a definite tendency for small children to adapt more slowly and recover less quickly than normal children, (SW and SR slopes less steep), although these results are not statistically significant. Finally, muscular mass in undernourished children is less than the norm.

DISCUSSION

This study describes growth and cardio-circulatory adaptation to exercise for a sample of Senegalese preschool children. It shows that these children grow more slowly than well-fed European or American children: compared to preschool boys normally fed in Europe and the USA, these Senegalese children display obvious backwardness in somatic growth ranging from 1 to 1.5 years for weight and 3 to 6 months for height, they also have less muscular mass.

Very few studies exist for the aerobic capacity of preschool children. An aerobic capacity test may be performed on a normal child in order to evaluate his physiological adaptation to metabolic demands beyond his requirement at rest (McArdle and Katz, 1986). A sub-maximal test was conducted on the basis of a linear relationship existing between the VO₂ and the HR during exercise (Astrand, 1954). The advantage of such a test is that it is without danger and requires little motivation on the part of the child (Bar-Or, 1987). It is easily performed and, to a certain extent, allows a work-load to be calculated.

This longitudinal survey shows a developmental trend in cardio-respiratory response to exercise. According to age and visit, HR tends to decrease at rest and during recovery and to slightly increase during exercise (figure n° 3). Seeing that the weight of a child and hence the load which must be supported, increases regularly through the year, in the course of exercise older children must display greater cardiac output to supply oxygen to active muscles than younger ones. This increase in cardiac output would be mainly determined by an increase in stroke volume than by an increase in HR. Moreover, it is known that in the growing child, HR values decrease while stroke volume increases with increasing age and height (Braden and Strong, 1990).

As far as it is possible, the values of the step-test have been compared with literature concerning preschool children. The Senegalese children's heart efficiency under load at all ages, as indicated by the CEI, is about 20% inferior to that of the Italians (Ferro-Luzzi, 1979) or Czechs preschool children (Parizkova, 1984). The Senegalese children were possibly handicapped by their lack of experience in climbing ladders as compared to Europeans, but they were seen to adapt rapidly to the conditions of the test after training. Other factors may be evoked: high external temperature, which make the test harder and increase metabolic demands for thermolysis; differences in the level of habitual physical activity, which is a factor favourizing training for effort; the fact that the children become more used to the tests as time goes on, which makes them easier. Although these arguments have some weight when comparison with European children is in question, they have no relevance where varying nutritional groups within the same population are being compared.

When the aerobic performance of these different children is compared, the depressive effect of their nutritional status becomes evident. Thin or stunted children cannot endure effort as well as well-fed ones. Interestingly, HR patterns do not vary among nutritional groups though the load to be supported is lighter in malnourished children. This can imply a lower cardiac output in this group. On the one hand, it seems likely that changes in cardiac output are related to a lower stroke volume in connection with the general reduction in body size due to protein-energy malnutrition; on the other hand, the undernourished children have less muscular mass, and that muscular weakness may be another reason, at the peripheral level, for their feeble aerobic capacity.

These conclusions about preschool children fit in with those concerning older ones (Davies, 1973; Satyarayana et al, 1979; Spurr et al, 1983).

Some authors consider that the physical aptitude of marginally undernourished children is as good, if not better, than that of their well-fed counterparts, and that they are physiologically well adapted to their situation (Ghesquière and D'Hulst, 1988). This does not appear to be the case for this group of children, whether it be in the area of muscular strength and motor coordination (Bénéfice, 1990), or in the realm of their cardio-respiratory endurance. Furthermore, it would seem strange to regard as normal a situation where a child is unable to develop his physical potential to the full. Finally, from a practical point of view, in a rural environment, very early in life, the African child undertakes domestic or subsistence chores whose intrinsic value is determined by the absolute quantity of the work performed: this is the case, for example, where a girl pounds millet or a boy carts wood.

Such questions are closely connected to the current debate on the consequences of chronic undernourishment (Martorell, 1989; Spurr, 1988). If answers to them can be found, malnutrition will be better understood and can be more effectively dealt with.

Acknowledgement

The author would thank all the children which participated in this survey. Thanks are due to my field assistants Modou Mbow and Daouda Ndiaye and to my colleague Olivier Bages-Limoges. Special thanks are also due to all the staff of "Mme. Elisabeth Diouf" kindergarten in Mbour.

LITERATURE CITED

Areskog, N. (1971) Short-time exercise and nutritional status in ethiopian boys and young males. **Acta Paediat. Scan. Suppl.**, **217**, 138-141.

Astrand, I. (1954) A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. **J. Appl. Physiol.**, **7**, 218-221.

Bar-Or, O. (1987) **Médecine du sport chez l'enfant**. Duizabo, J. (trans). Masson, Paris, pp 317-342.

Bénéfice, E. (1990) Motor skills of mild-malnourished compared with normal, preschool Senegalese children. **Early Child Development and Care**, **61**, 81-91.

Bhatia, D., and Seshadri, S. (1987) Anemia, undernutrition and physical work capacity of young boys. **Indian Pediatrics**. **24**, 123-138.

Braden, S., and Strong, W. (1990) Cardiovascular responses to exercise in childhood. **Am. J. Dis. Child.**, **144**, 1255-1260.

Cermak, J., Cermakova, J., Zudova, Z., Cerma, M., and Tuma, S. (1969) Die unterschiede in der funktionstüchtigkeit des kreislaufsystems von schülern der experimental-schwimmklassen im vergleich mit gleichalten. keinen sport treibenden schülern. **Schweizerische zeitschrift für sportmedizin**, **1**, 9-19.

Chevassus-Agnès, S. and Ndiaye, A. (1981) Enquêtes de consommation alimentaire de l'ORANA de 1977 à 1979.:méthodologie et résultats. In **Etat nutritionnel de la population rurale du Sahel: rapport d'un groupe de travail**, Paris: edited by the Centre de recherches pour le Developpement International, Ottawa, pp. 57-66.

Davies, C. (1973) Physiological responses to exercise in east african children. II The effects of shistosomiasis, anaemia and malnutrition. **Env. Child Health**, **19**, 115-119.

Desai, I., Garcia tavarès, M., Dutra de Oliveira, B., Desai, M., Cevallos Romero, L., Vichi, F., Duarte, F., and Dutra de Oliveira, J. (1981) Anthropometric and cycloergometric assesment of the nutritionel status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. **Am. J. Clin. Nut.**, **34**. 1925-1934.

Echenber. D, Stubbs, H., and King, J. (1984) **Evaluation du programme de protection nutritionnelle et sanitaire-groupes vulnérables**. Working document submitted to Agency for International Development. Washington: International Science and Technology Institut Inc., and Western Consortium for the Health Professions, Inc.

Ferro-Luzzi, A., D' Amicis, A., Ferrini, A., and Maiale, G. (1979) Nutrition, Environment and physical performance of preschool children in Italy. **In Nutritional aspects of physical performance**: edited by Somogyi J. & de Wijn J. Karger Bibliothca Nutr. Dieta vol 27, Basel, pp. 85-106.

Frisancho, A. (1981) New norms of upper limb fat and muscle arms areas for the assessment of nutritional status. **Am. J. Clin. Nut.**, **34**, 2540-2545.

Ghesquière, J., and D'Hulst C. (1988) Growth, stature and fitness of children in tropical areas. **In Capacity for work in the tropics** edited by K. Collins and D. Roberts. Cambridge University Press, Cambridge, pp 165-179..

Gurney, J., and Jelliffe, D. (1973) Arm anthropometry in nutritional assessment: nomogram for rapid calculation of muscle circumference and cross-sectional muscle and fat areas. **Am. J. Clin. Nut.**, **26**, 912-915.

McArdle, W., Katch, F., and Katch, V. (1987) **Physiologie de l'activité physique**. Nadeau, M. (trans.). Vigot, Paris, pp. 455-478.

Martorell, R. (1989) Body size, adaptation and function. **Human Organization**, **48**, 15-20.

Parizkova, J. (1984) **Growth, fitness and nutrition in preschool children**. Charles University, Prague, pp 1-132.

Satyanarayana, K., Nadamuni Naidu, A., and Narasinga Rao, B. (1979) Nutritional deprivation in childhood and the body size, activity, and the physical work capacity of young boys. **Am. J. Clin. Nut.**, **32**, 1769-1775.

Spurr, G., Reina, J., Dahners, H., and Barac Nieto, M. (1983) Marginal malnutrition in school-aged colombian boys : functional consequences in maximum exercise. **Am. J. Clin. Nut.**, **37**, 119-132.

Spurr, G. (1988) Body size, physical work capacity, and productivity in hard work: is bigger better? In **Linear growth retardation in less developed countries**: edited by J.C. Waterlow. New York: Raven Press, Nestlé Nutrition Workshop series, vol 14, pp 215-2431.

Weiner, J., and Lourie, J. (1981) **Practical human biology**. Academic Press, London, pp. 27-51.

World Health Organization (1983) **Measuring change in nutritional status**. Guidelines for assessing the nutritional impact of supplementary feeding programmes for vulnerable groups. W.H.O., Geneva.

LIST OF FIGURES AND TABLES.

Figure 1: Cumulative distribution curves of H/age and W/H Z-scores.

Figure 2: Triceps skinfold and Arm muscle circumference by age of preschool Senegalese children.

Figure 3: Changes in heart rate during the step-test according to age and visit.

Table 1: Mean values of anthropometric parameters according to age and visit in preschool Senegalese children.

Table 2: Mean values of cardio-respiratory endurance indices according to age and visit in preschool Senegalese children.

Table 3: Comparison of cardio-respiratory endurance and muscle mass indices between normal, wasted and stunted preschool Senegalese children.

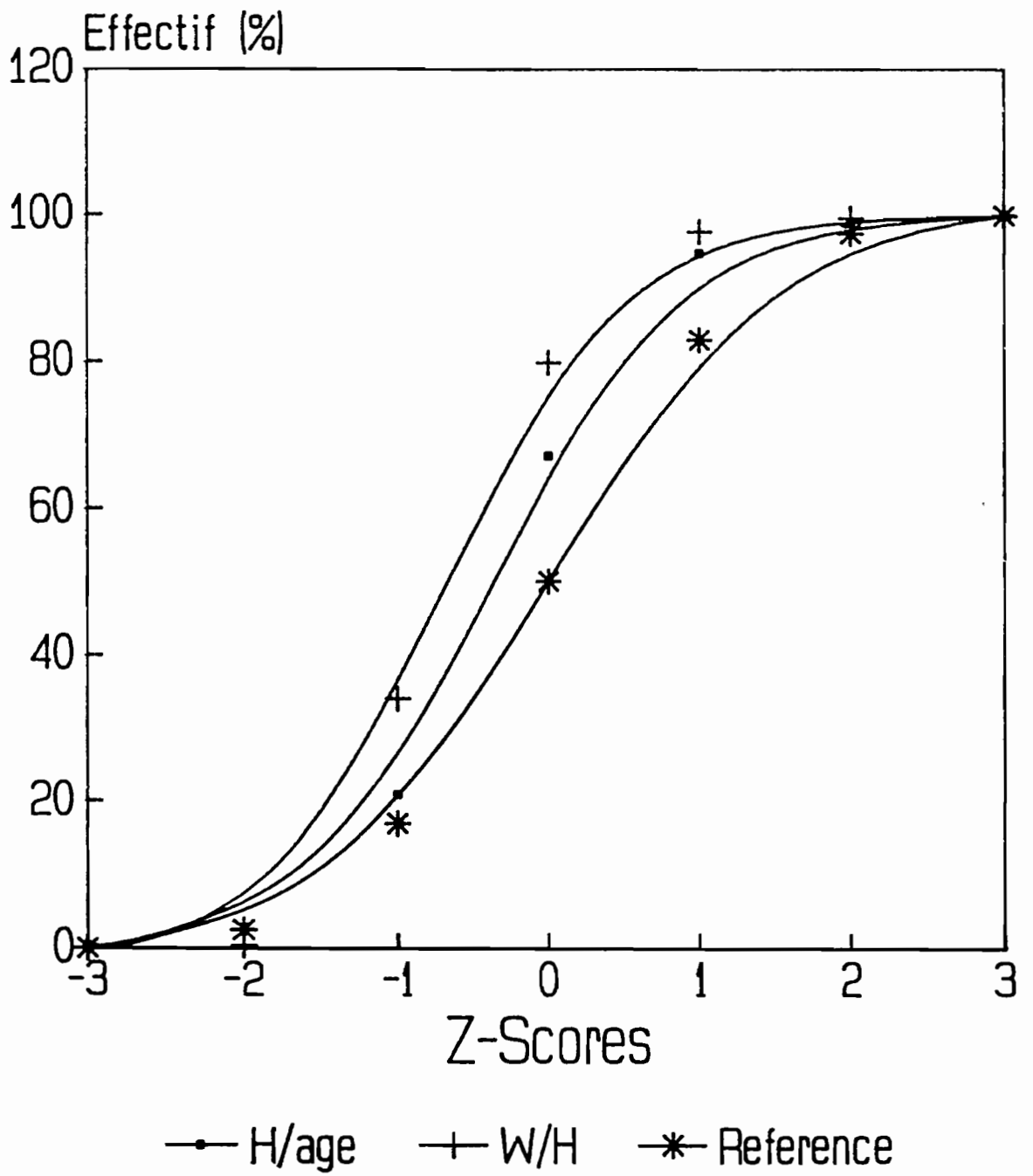


Figure 1

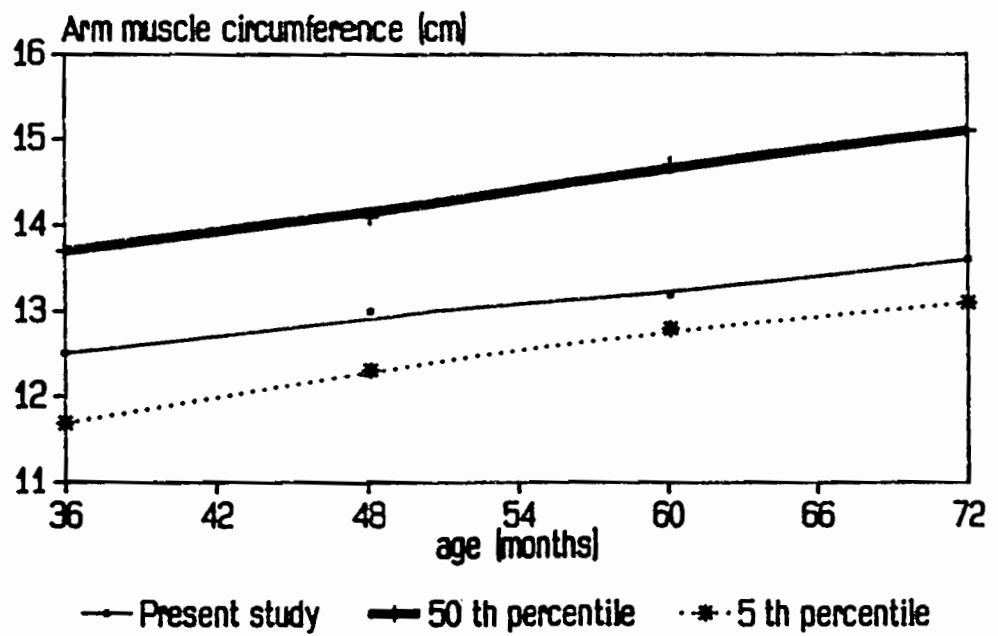
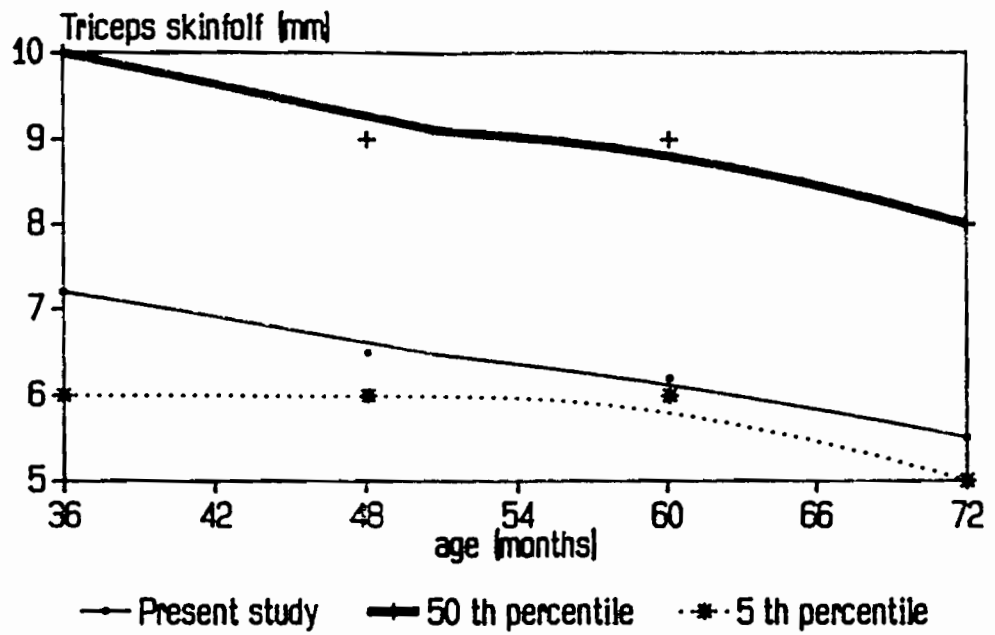
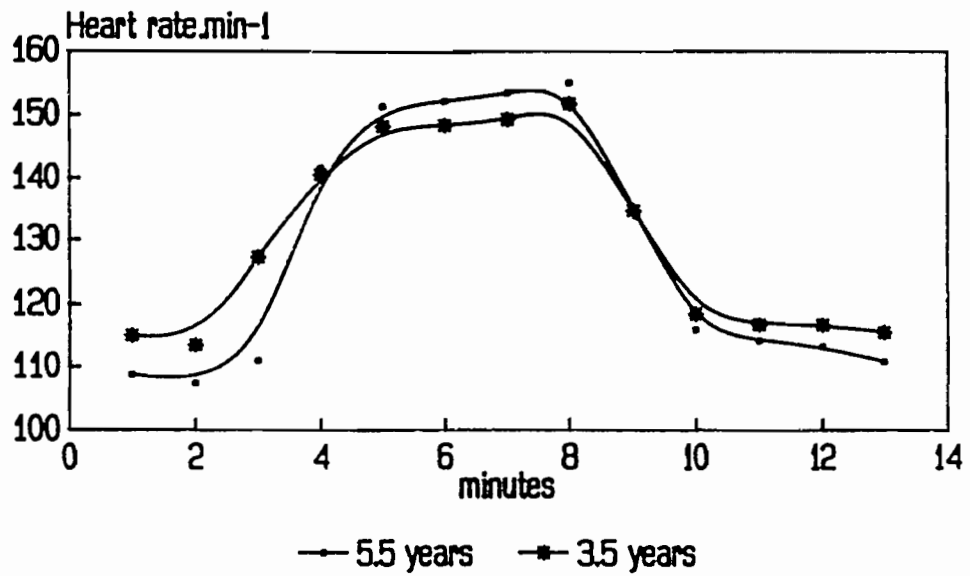


Figure 2

Age effect



Visit effect (3-4 years)

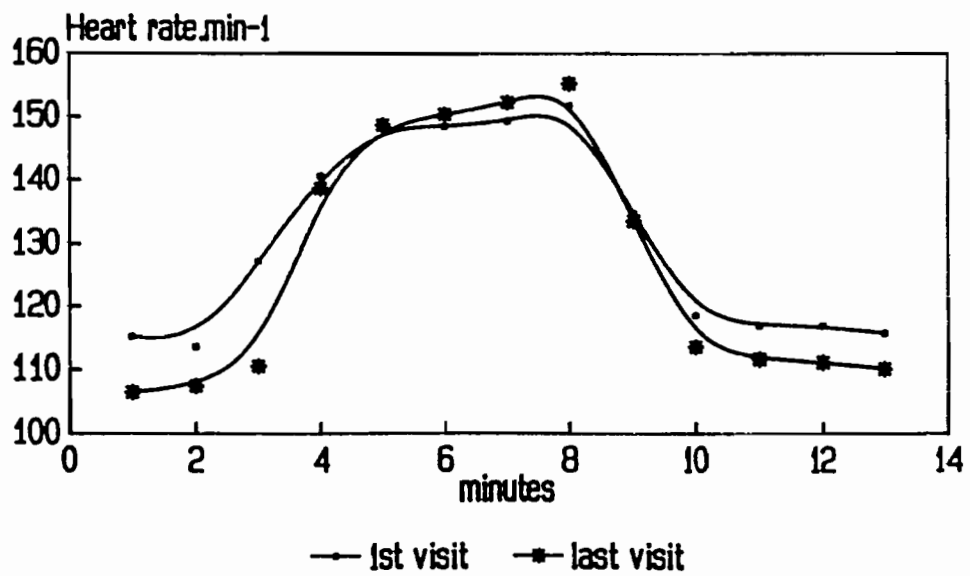


Figure 3

Table 1

Age group	3-4 years (n=18)	4-5 years (n=34)	5-6 years (n=36)	Two-way analysis of variance	
				Between age group F (2,225)	Between visit F (2,225)
Degree of freedom					
Height (cm)					
1st (1)	98.8 (2)	103.6	111.0	144.6	34.6
	4.1 (3)	3.3	3.9	***	***
2nd	101.0	105.6	113.8		
	4.4	3.5	3.8		
3rd	104.6	110.0	116.9		
	4.5	3.5	3.3		
Weight (kg)					
1st	14.2	15.8	18.0	74.6	159.0
	1.7	2.0	1.6	***	***
2nd	15.1	15.6	18.8		
	2.0	2.0	1.6		
3rd	15.8	17.7	19.6		
	1.9	2.2	1.7		
Arm muscle circumference (AMC, cm)					
1st	12.5	13.0	13.2	13.1	0.2
	1.2	1.6	0.8	***	ns
2nd	12.5	12.9	13.5		
	1.0	1.2	0.8		
3rd	12.5	12.9	13.6		
	1.6	1.9	0.8		
Triceps skinfold (TSF, mm)					
1st	7.2	6.5	6.2	7.6	0.4
	2.5	2.9	1.6	***	ns
2nd	7.1	6.6	6.1		
	1.8	2.0	1.1		
3rd	7.0	6.6	5.5		
	1.1	1.5	1.0		

(1) visit number; (2) mean; (3) 1 standard deviation

***: $p < 0.001$; ns: not significant

Table 2

Age group	3-4 years (n=18)	4-5 years (n=34)	5-6 years (n=36)	Two-way analysis of variance	
				Between age group F(2,225)	Between visit F(2,225)
Degree of freedom					
Cardiac efficiency index (CEI)					
1st	0.38 0.09	0.44 0.07	0.50 0.07	49.8 ***	11.9 ***
2nd	0.42 0.08	0.45 0.07	0.53 0.07		
3rd	0.44 0.08	0.49 0.08	0.56 0.07		
Work load (Kgm)					
1st	461.7 63.5	531.2 81.9	621.7 66.2	81.4 ***	19.2 ***
2nd	500.0 69.1	556.6 84.5	641.3 59.8		
3rd	537.0 72.4	610.4 80.0	678.1 61.5		

(1) visit number; (2) mean; (3) 1 standard deviation
 ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; ns: not significant

Table 3

Dependent variable	groups (1)	Adjusted mean	Standard error	T-test matrix		
				a (1) n=137	b n=72	c n=55
CEI	a	0.509	0.005	0		
	b	0.457	0.007	5.6***	0	
	c	0.447	0.008	6.0***	0.8	0
Comment				a>b,c		
Work load (kpm)	a	622.9	4.2	0		
	b	556.6	5.8	9.3***	0	
	c	528.0	6.7	12.0***	3.2***	0
Comment				a>b>c		
SW (Work)	a	30.1	0.7	0		
	b	29.4	0.9	0.5	0	
	c	28.4	1.1	1.3	0.7	0
Comment				equality of adjusted means		
SR (recovery)	a	-22.2	0.70	0		
	b	-20.5	0.98	1.4	0	
	c	-19.9	1.12	1.7	0.4	0
Comment				equality of adjusted means		
AMC (cm)	a	13.5	0.8	0		
	b	12.5	1.0	7.9***	0	
	c	12.7	1.2	5.8***	1.3	0
Comment				a>b,c		

(1) Nutritional groups: a = H/age > -1 sd and W/H > -1 sd
 b = W/H < -1 sd
 c = H/age < -1 sd

Motor skills of mild-malnourished compared with normal preschool Senegalese children

E. BENEFICE

Nutrition Department, Institut Français de Recherches pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

(Received 6 June 1990)

The relationship between motor skills and mild protein-energy malnutrition was studied in a rural Senegalese setting. Eighty-eight children in good health, aged between 3 and 5 years were examined on 3 occasions in the course of one year, and their physical performance and motor skills evaluated. Regular progress in their abilities was observed over the year. Nevertheless, 3/4 of them portrayed mild somatic deficiencies. After dividing the children into 4 nutritional groups according to their height-for-age and weight-for-height deficiencies, it was found that normal and thin children, scored higher in the various tests than did children who were underheight, or both underheight and underweight.

Insufficient muscular mass available for exercise seemed to be the principle factor limiting the performance of these mildly undernourished children. However, other hypotheses should be mentioned: reduction in the children's habitual physical activity, and the neuro-motor consequences resulting from former, severe malnutrition.

These observations show that even slight degree malnutrition can affect a child's ability to perform physical work and, thus, hinder his future development and learning.

Key Words: Protein-energy malnutrition, motor skills, Senegal

INTRODUCTION

Protein-energy malnutrition (P.E.M.) results in smaller body dimensions. This relationship forms the basis for anthropometric malnutrition classifications (Keller *et al.*, 1976). In 1972, Waterlow introduced a new parameter in P.E.M. evaluation: its duration, determined by growth retardation for a given age (Waterlow, 1972). Hence, at the present time, two different conditions are taken into account: on the one hand, current thinness or "wasting", which is a shortage of tissue and body fat; and, on the other hand, lack of height for age or "stunting", which represents an accumulation of lack of growth over a period of time. "Weight-for height" (W/H), or the difference between observed weight and weight of a reference group of the same height, and "height-for-age" (H/ageⁿ), the difference between observed height and the norm for that age, respectively are anthropometric indicators of wasting and stunting (W.H.O., 1986).

Address for correspondence: Dr. E. Bénéfice. Centre Orstom, BP 1386 Dakar (Sénégal).

Observations show the existence of a strong connection between somatic deficiencies and mortality risk (Chen *et al.*, 1980), or an increase in the likelihood of diarrhoea and infection among the undernourished (Black *et al.*, 1982; Zumrawi *et al.*, 1987), justifying the use of these indicators in clinical practice and epidemiology. However, little is known of the biological significance of these indicators for higher threshold of malnutrition, although the prevalence of children with only slight anthropometric deficiencies is very marked: in Senegal, where the present study was carried out, about 60% are underheight by 0 to -2 standard deviations (sd) (Garenne *et al.*, 1987). Papers on the effects of hidden malnutrition are rare and, apart from the one prepared by Ferro-Luzzi in Italy (Ferro-Luzzi *et al.*, 1979), none has covered functional capacity in the sense of ability to perform physical tasks in slightly undernourished preschool children. Notwithstanding, physical performance development and motor skills in children are essential to their learning and social integration.

The goal of this work, therefore, is to study the relationship between body dimensions, physical performances and motor skills in malnourished Senegalese children, and to show that, even for mild anthropometric deficiencies, their functional capacities may be reduced.

SUBJECTS AND METHODS

Site for the Study

The children came from two villages in West-Central Senegal (Diokhane and Ndongol in Bambey county) and from a small, coastal town, Mbour. The inhabitants of this region are muslims, ethnic Wolofs or — in the case of Mbour — Lébous fishermen, a related tribe. Their basic diet is the same: rice and fish at midday, millet or sorghum gruel in the evening. A study of food consumption showed more than half these families to be short of energy during the rainy season (Chevassus & Ndiaye, 1981). P.E.M. in this region ranks the highest in Senegal. When tabulating results, no account was taken of the children's geographical origin, since no differences in physical and functional characteristics were observed between the villages. Similarly, sex was disregarded as differences were statistically not significant, although ratings for girls were lower.

Sample

The sample was made up of 88 children (44 boys and 44 girls) divided into 3 cohorts according to their year of birth: 1983 ($n = 36$), 1984 ($n = 34$) and 1985 ($n = 18$) corresponding to mean ages 3.5, 4.5 and 5.5 years at the outset. These children were examined three times between October, 1988 and November, 1989. The average interval between the first and second examination (5 ± 1.5 months) was shorter than between the second and third examination (6.4 ± 0.5 months) because of delays in recruiting the children. Only children who appeared to be in good health were selected for the study, in particular those showing no signs of clinical

denutrition, muscular collapse, pale conjunctiva, or orthopaedic or neurological disorders. The aim of the study was explained to the parents and the tribal leaders, and their consent was obtained. The children were examined with a relative present. Clear instructions about the tests they were to undergo were given in their vernacular language by a field assistant.

Measurements Taken

At each visit the children underwent a medical examination and undertook a variety of motor tests. They were weighed, clad in underclothes, on electronic scale accurate to within 100 g, and measured as they looked straight in front of them in the standing position, by means of an anthropometer accurate to within 1 mm.

Thereafter, the children undertook 4 physical tests: hand grip test to determine the maximal strength developed by the forearms; 20 meter race; long jump from a standing start with feet together; underarm throw with a baseball (softball). Except for the 20 m race, the best of three, consecutive attempts was retained.

Motor skills were evaluated using Hughes and Riley (1981) type tests for basic motor assessment, and Connolly's (1979) for fine coordination of upper members. Table 1 summarizes the protocol for the various tests. Each type of skill test was graded separately, and the points were added together at the end to give a composite, global score. The highest possible score was 17, and the lowest 0.

Data Analysis

BMDP package (BMDP Statistical Software, Inc., Los Angeles, California, 1988) was used for the analysis. Two-way analysis of variance with age and chronology of visit as group factors, were undertaken to assess motor development evolution in the children. Analysis of covariance was then undertaken to study changes in motor variables for differing nutritional conditions, taking age and the chronology of the visit into account.

RESULTS

At the outset, the children were suffering from no serious sickness and showed no sign of undernutrition. By anthropometrics standards, none was underheight for his age (H/age) or underweight for his weight (W/H) by more than 2 sd on the National Center for Health Statistics (N.C.H.S.) scale (W.H.O., 1983). Seventeen children however showed a H/age deficiency ranging from -2 and -1 sd, and 37, a W/H deficiency of between -1 and -2 sd. It should be stressed that only 19 children had H/age, and 10 W/H, above the median of the N.C.H.S. reference.

Figure 1 shows the children's somatic growth during the course of the study: although regular, it is deficient by N.C.H.S. standards. On average the children are 1.5 years behind in weight development, and 3 to 6 months behind in height.

Table 1 Description of tests for motor performances and abilities in preschool Senegalese children.

<i>Item</i>	<i>Description of the test</i>	<i>measurement</i>
<i>Motor performances</i>		
20 m race	20 m barefoot race	time 1/10 th sec)
Throwing	upper arch throw with a 184 g softball.	distance (m)
Jumping	long jump from a standing start	distance from toes to heels (cm)
Grip strength	squeezing a rubber bulb connected to a manometer (Martin, Tuttlingen)	pressure (kpa)
<i>Motor abilities</i>		
Standing balance	standing balance on one leg eyes open during 10 sec	quotation (1)
Tandem walking	2 forms: (a) walk forward and (b) backward the length of a 3 m line.	quotation (2)
Hopping	2 forms: (a) hopping on the left leg (b) on the right leg, the length of a 3 m line	quotation (2)
Heel and toe	2 forms: (a) walk on heels, (b) on toes, along a 3 m line.	quotation (2)
Stride Jump	the child jump forward and then jump again backward returning to the starting position. These two movements constitute one stride jump. 5 stride jumps may be observed.	quotation (1)
Catching a tennis ball	3 forms: (a) with rebound two-steps in front of the child, (b) the child throws ball on ground and catches it (c) ball is thrown above the child	quotation (1)
Bimanual accuracy	thread 10 coloured glass beads	time 1/10th sec)
Unimanual accuracy	Screw nuts on 8 mm diameter bolts mounted on a square plate, 2 cm apart.	Number of nuts. screwed in 2 min.

Quotation: (1) 0 = failure; 1 = good.

(2) 0 = failure; 1 = medium; 2 = good

Motor skill output measurements vary with the age of the child and the order of the visit, due to growth and increasing maturity. The oldest children performed the best and there was an improvement also from visit to visit (Table 2).

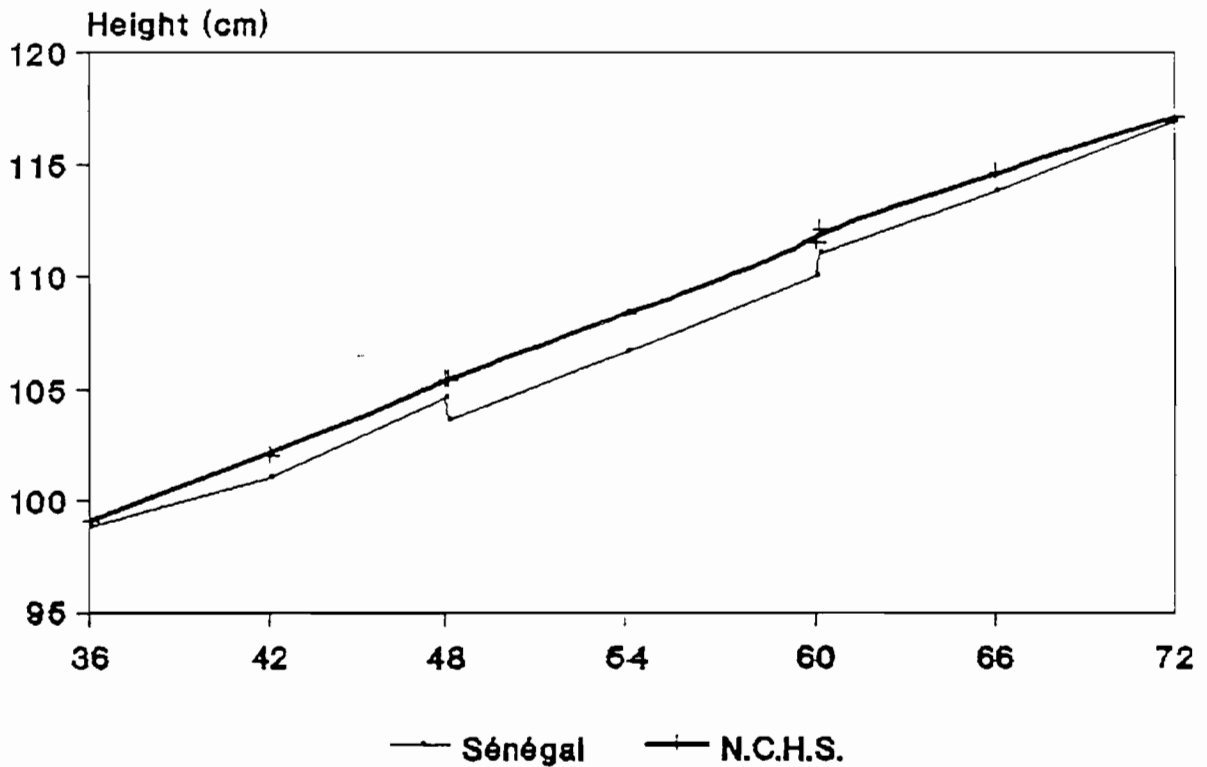
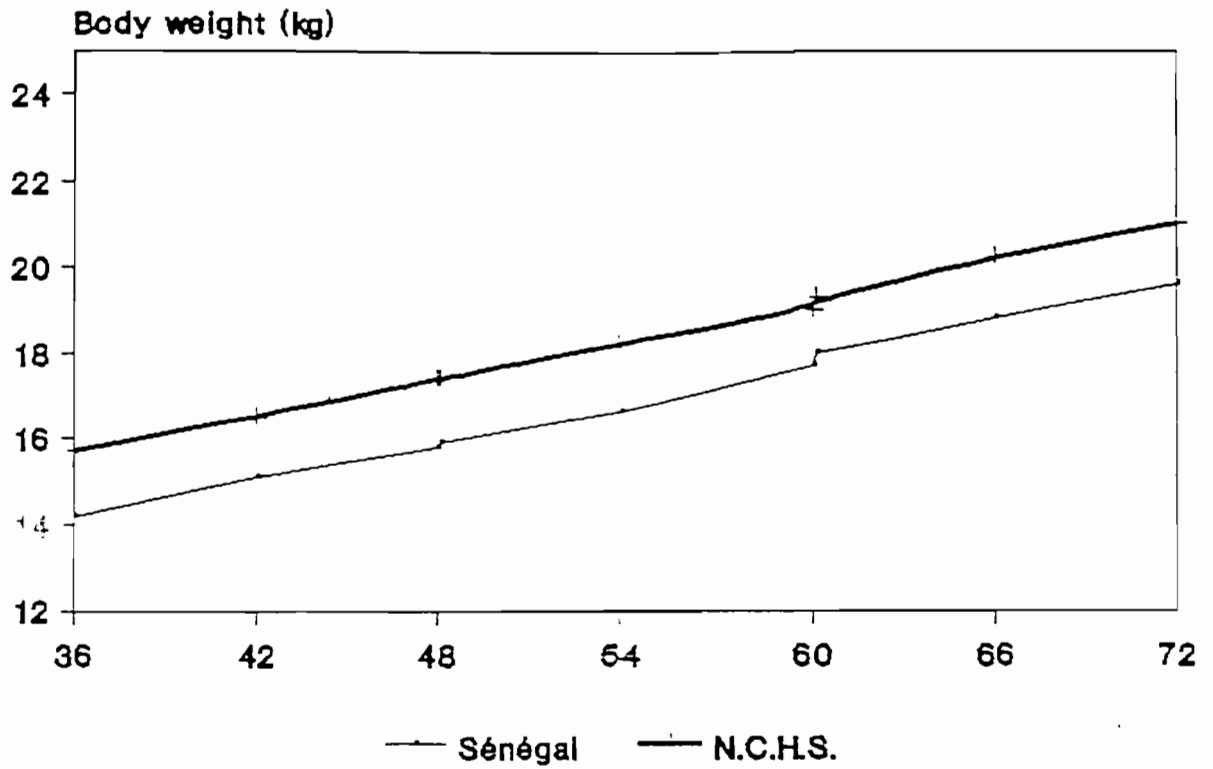


Figure 1. Weight and Height by age of preschool Senegalese children.

Table 2 Mean values of motor performances and abilities according to age group and visit number in preschool Senegalese children.

Age group	5-6 years (n = 36)	4-5 years (n = 34)	3-4 years (n = 18)	Two-way analysis of variance	
				Between age group F(2,261)	Between passage F(2,261)
20 m run (sec)					
1st (1)	6.27 (2)	7.05	8.01	62.0	50.6
	0.95 (3)	0.83	1.33	*** (4)	***
2nd	5.80	6.47	7.10		
	0.59	0.69	0.75		
3rd	5.24	5.76	6.35		
	0.61	0.52	0.90		
Standing broad jump (cm)					
1st	78.5	56.3	42.5	60.1	33.1
	10.8	16.5	15.3	***	***
2nd	89.4	62.4	59.9		
	19.9	24.3	19.0		
3rd	103.5	85.7	66.4		
	18.1	19.2	21.6		
Throwing soft ball (m)					
1st	5.9	3.9	2.6	118.2	19.2
	1.4	1.2	0.7	**	***
2nd	6.9	4.5	3.0		
	1.8	1.6	1.2		
3rd	7.8	5.7	3.6		
	1.8	2.0	0.9		
Hand grip strength (kpa)					
1st	32.0	26.0	21.0	64.3	5.2
	8.0	7.0	7.0	***	***
2nd	39.0	30.0	22.0		
	9.0	7.0	7.0		
3rd	39.0	27.0	23.0		
	10.0	7.0	5.0		
Composite motor abilities score					
1st	12.5	10.3	5.8	90.7	23.4
	4.3	4.0	3.4	***	***
2nd	14.8	11.4	7.1		
	2.7	2.3	2.3		
3rd	15.8	12.9	9.9		
	1.7	2.7	2.4		

(1) visit number; (2) mean; (3) 1 standard deviation (4) *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$.

The children were classified according to their H/age or W/H deficiency, with -0.5 sd of N.C.H.S. median as cut-off point. On the first visit, the sample was divided up as follows:

- Group a: small for age children, H/age < -0.5 sd and W/H > -0.5 sd (n = 20).
- Group b: small for age and wasted children, H/age < -0.5 sd and W/H < -0.5 sd (n = 14).
- Group c: wasted children, H/age > -0.5 sd and W/H < -0.5 sd (n = 33).
- Group d: normal children, H/age > -0.5 sd and W/H > -0.5 sd (n = 21).

This breakdown by nutritional status remained constant throughout the visits (Chi² = 0.7 for 6 df).

The results of motor tests were then compared for the 4 nutritional groups after adjustments for age and visit chronology by means of covariance analysis. Equality of slopes of regression lines was tested and no difference was found, authorizing comparison of adjusted means, except for throwing (Snedecor and Cochran, 1967). In the case of throwing, there was a significant interaction with age for this variable (F (3,261) = 3.6, $p < 0.01$). This interaction disappeared when 2 groups — aged over 60 months and under 60 months — were formed, and only the older group showed a significant connection between nutritional condition and the ability to jump.

Tables 3 and 4 summarize the results of adjusted means comparisons: normal and wasted children have better physical performances output than small for age and small and wasted children. Similarly, they have a better score for basic motor skills; the small for age and wasted children have less unimanual skill than the others, but no difference emerges between the groups for bimanual accuracy.

DISCUSSION

The results of this study on a group of healthy Senegalese children experiencing regular growth show that those who were underheight or both underheight and underweight, had lower output on physical performances and motor skills than normal sized or simply underweight children. As far as is known, these results are the first to specifically cover the effects of hidden malnutrition in African preschool children.

The tests employed are simple to operate, can be reproduced, and furnished unambiguous responses. For all that, all measurements were made by the author, and the longitudinal character of the observations allowed close control over the quality of the results. However, these precautions do not justify the conclusion that a relationship of cause and effect exists between the somatic measurements and the motor ones: individual factors of variation exist such as behaviour, education and family micro-environment; more, it was difficult to piece together the children's nutritional history. Nevertheless, it can be assumed that the great cultural and ecological hegemony in the area limited any variations; as for the type of malnutrition, it is reasonable to assume that chronically low food intake in the area has resulted in moderate but permanent undernourishment (Chevassus-Agnès & Ndiaye, 1981). This leads to the acceptable supposition that a close connection exists between the results of the tests and the nutritional status of the children. Whatever the case, in view of the number of children involved, the attention of the health and education authorities should be drawn to this worrying phenomenon.

Table 3 Motor performances for preschool Senegalese children with different nutritional status, compared by analysis of covariance, controlling for age and visit number.

<i>Dependent variable</i>	<i>groups (1)</i>	<i>Adjusted mean</i>	<i>Standard error</i>	<i>T-test matrix</i>			
				<i>a (1)</i> <i>n = 60</i>	<i>b</i> <i>n = 46</i>	<i>c</i> <i>n = 99</i>	<i>d</i> <i>n = 59</i>
20 m race (sec)	a	6.42	0.10	0			
	b	6.58	0.11	1.0	0		
	c	6.25	0.07	1.3	2.4 **	0	
	d	6.12	0.10	2.1 *	3.0 ***	0.9	0
Comment				d < a, b	c < b		
Jump (cm)	a	73.4	2.6	0			
	b	69.9	3.0	0.8	0		
	c	75.0	2.0	0.5	1.4	0	
	d	79.8	2.6	1.7	2.5 **	1.4	0
Comment				b < d			
Throw (m) Children >60 months (2)	a	6.2	0.27	0			
	b	5.2	0.36	2.2 **	0		
	c	6.6	0.21	1.1	3.3 ***	0	
	d	7.1	0.28	2.3 **	4.1 ***	1.4	0
Comment				a < d	b < a, c, d		
Hand grip strength (kpa)	a	0.28	0.01	0			
	b	0.27	0.01	0.7	0		
	c	0.32	0.01	2.8 **	3.3 ***	0	
	d	0.33	0.01	3.6 ***	4.1 ***	1.3	0
Comment				a < c, d	b < c, d		

(1) Nutritional groups: a = T/age \leq 0.5 sd and P/T \geq 0.5 sd

b = T/age \leq 0.5 sd and P/T \leq 0.5 sd

c = T/age \geq 0.5 sd and P/T \leq 0.5 sd

d = T/age \geq 0.5 sd and P/T \geq 0.5 sd

(2) Significant interaction with age: $F(3,261) = 3.6$, $p < 0.01$. a: n = 39; b: n = 21; c: n = 60; d: n = 34.

Studies undertaken on this subject have produced contradictory conclusions. Thus, Ferro-Luzzi's study undertaken in Italy (1979), in contrast to this present one, tended to attribute greater physical aptitude to below school age children in the south of Italy than to their better fed counterparts in the north. Similarly in Tunisia, small, underprivileged children performed better than bigger, affluent ones (Parizkova, 1974). On the other hand, in Mexico, Malina showed motor skills for tiny Mexicans to be inferior to those of North American children, bigger for their age (Malina & Bushang, 1985). In Zaire, children from poor areas had lower functional capacities than those from well to do areas, but this difference disappears when account is taken of their height (Ghesquière & Eeckels, 1984). These last mentioned studies, nevertheless, concerned school age children, and divergences as to the conclusion can be explained by the degree of growth retardation and the form it took (Parizkova, 1987). Thus the Senegalese children in this present study were smaller and about 10% lighter than the southern Italians.

Table 4 Motor abilities for preschool Senegalese children with different nutritional status, compared by analysis of covariance, controlling for age and visit number.

Dependent variable	groups (1)	Adjusted mean	Standard error	T-test matrix			
				a (1) n = 60	b n = 46	c n = 99	d n = 59
Composite motor abilities score	a	11.7	0.37	0			
	b	10.4	0.42	2.2 *	0		
	c	12.2	0.29	1.0	3.3 ***	0	
	d	12.7	0.37	1.9 *	3.9 ***	1.0	0
Comment:				d > a, b	c > b	a > b	
unimanual accuracy (number)	a	4.49	0.21	0			
	b	4.20	0.25	0.8	0		
	c	4.86	0.17	1.3	2.1 *	0	
	d	4.83	0.22	1.1	1.9 *	1.5	0
Comment:				b < c, d			
Bimanual accuracy (time)	a	1.57	0.11	0			
	b	1.63	0.13	0.3	0		
	c	1.82	0.09	1.7	1.2	0	
	d	1.68	0.11	0.6	0.3	0.9	0
Comment:				equality of adjusted means			

(1) Nutritional groups: a = T/age \leq -0.5 sd and P/T \geq 0.5 sd

b = T/age \leq -0.5 sd and P/T \leq -0.5 sd

c = T/age \geq 0.5 sd and P/T \leq -0.5 sd

d = T/age \geq 0.5 sd and P/T \geq 0.5 sd

A number of hypotheses can be advanced to explain the lower scores obtained by slightly undernourished children. Active muscular mass deficiency constitutes a direct cause of inaptitude, easily noticeable in tests requiring strength. With the threshold set at -0.5 sd, the deficiency is insufficient to provoke a significant loss of performance in children who are simply thin, but it does show for small for age and small-and-thin children. In such children, lack of height not only implies a supplementary muscular deficiency in absolute terms, but also, from a biomechanical viewpoint, constitutes a disadvantage in tests such as running or jumping. In an earlier study it was effectively discovered that a significant proportion of physical performance variance could be explained by differences in height and lean body mass (Bénéfice, in preparation). These observations justify the need to take stature into consideration when evaluating a child's nutritional condition.

An indirect mechanism frequently referred to is below normal habitual physical activity, which would result from low energy intake and restrains the child's explorations and experiences, thus delaying motor development (Ferro-Luzzi, 1985). This low physical activity could be the "first line of defence" for undernourished children (Spurr & Reina, 1987), but, at the same time, it implies less training at motor activities and retarded development. Thus, Solomons (1978) has shown that great flexibility exists in motor development in accordance with the measure of exercise which stimulate it? In this connection, it is interesting to note that in the

present study, the only test unaffected by nutritional condition, the pearl test, concerned a very traditional occupation in this milieu: every child has seen his mother or sisters thread necklaces and has probably helped them to do so. In the same way, Malina showed that the only task Mexican children could do better than American ones, throwing, corresponded to a daily action employed in hunting or herding animals (Malina, 1985).

These explanations suggest that correcting somatic deficiencies through an improved diet would increase these children's functional abilities. It must be ruled out, however, that more sensitive mechanisms controlling the acquiring of motor skills could also be affected. This is shown by certain studies on the long term effects of serious malnutrition on mental behaviour and fine motor skills (Galler *et al*, 1987 a; Galler *et al*, 1987 b; Stock & Smythe, 1976) and of chronic malnutrition on intersensorial integration (Cravioto, 1979). In these cases, the degree and duration of malnutrition must be taken into account, and it must be clear that, as far as the reactions of our children are concerned, they are outside the pathological realm. Apparently, these small for age and thin children are simply retarded in comparison to the others, as is shown by the good progress in results from one visit to the next (Table 2). It is also possible that the traditional way of life is sufficiently flexible and stimulating to allow these children to catch up (Super, 1976), but this might not be so in the rapidly changing situation (urbanization, migration, agricultural development) and consequent upheaval prevailing in rural Africa. The drop in motor performance resulting from minimal nutritional deficiency should induce prudence over highly debatable theories about the advantages which stunted growth might confer. Waterlow (1990) and Martorell (1985; 1989) among other authors, recently criticized the "small but healthy" hypothesis.

W.H.O. selected thresholds of malnutrition are low; they correspond to a deficit of 2 sd (W.H.O., 1983) and are justified by the need to make a proper selection of children requiring nutritional aid when resources are limited. That does not signify that the others are out of danger: the differences concern the kind of risk which no longer concerns life and death, but the cost for these children of a reduction in functional ability could be very heavy in terms of development and learning.

Acknowledgement

This work was supported by the "Maladies de Dénutrition" research unit of the ORSTOM. Thanks are due to all the children who endured my tedious surveys and their parents. Thanks are also due to my field assistants Mr Modou Mbow and Daouda Ndiaye for their kind help and to all the staff of the "Mme Elisabeth Diouf" kindergarten in Mbour.

References

- Black, R., Brown, K., Becker, S. & Yunus, M. (1982) Longitudinal studies of infectious diseases and physical growth in rural Bangladesh. I. Patterns of morbidity. *Am. J. Epidemiol.*, **115**, 305-314
- Chen, L.C., Chowdhury, A.K.M. & Huffman, S.L. (1980) Anthropometric assessment of energy-protein malnutrition and subsequent risk of mortality among pre-school children. *Am. J. Clin. Nutr.*, **33**, 1836-1845

- Chevassus-Agnès, S. & Ndiave, A.M. (1981) Enquêtes de consommation alimentaire de l'ORANA de 1977 à 1979: méthodologie et résultats. In *Etat nutritionnel de la population rurale du Sahel. Rapport d'un groupe de travail*. CRDI, Paris, pp. 57-66
- Connolly, K.J., Pharoah, P. & Hetzel, B.S. (1979) Fetal iodine deficiency and motor performance during childhood. *Lancet* **2**, 8153, 1149-1151
- Cravioto, J. & Delicardie, E.R. (1979) Nutrition, mental development and learning. In *Human growth III Neurobiology and nutrition*, edited by Falkner F. & Tanner J.M. Plenum Press, New-York, London, pp 481-511
- Ferro-Luzzi, A., D'Amicis, A., Ferrini, A.M. & Maiale, G. (1979) Nutrition, Environment and physical performance, of preschool children in Italy. In *Nutritional aspects of physical performance* edited by Somogyi J.C. & de Wijn J.F. Karger Bibliotheca Nutr Dieta vol 27, Basel, pp. 85-106
- Ferro-Luzzi, A. (1985) Work capacity and productivity in long-term adaptation to low energy intakes. In *Nutritional adaptation in man* edited by Blaxter K. & Waterlow J.C. John Libbey, London, Paris, pp. 61-68
- Galler, J.R., Ramsey, F.C., Salt, P. & Archer, E. (1987 a) Long-term effects of early kwashiorkor compared with marasmus. II Intellectual performance. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, **6**, 847-854
- Galler, J.R., Ramsey, F.C., Salt, P. & Archer, E. (1987 b) Long-term effects of early kwashiorkor compared with marasmus. III Fine motor skills. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, **6**, 855-859
- Garenne, M., Maire, B., Fontaine, O., Dieng, K. & Briend, A. (1987) Risques de Décès associés à différents états nutritionnels chez l'enfant d'âge préscolaire. ORSTOM, Dakar
- Ghesquiere, J. & Eeckels, R. (1984) Health, physical development of primary school children in Kinshasa. In *Children and Sport*, edited by Illmarinen J. & Välimäki I. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 18-30
- Hughes, J.E. & Riley, R. (1981) Basic motor assessment: tool for use with children having minor dysfunction. *Phys. Ther.*, **61**, 503-511
- Keller, W., Danoso, G. & DeMaeyer, E.M. (1976) Anthropometry in nutritional surveillance: A review based on results of the WHO collaborative study on nutritional anthropometry. *Nutrition Abstracts and Reviews*, **46**, 591-606
- Malina, R.M. & Bushang, P.H. (1985) Growth, strength and motor performance of Zapotec children, Oaxaca, Mexico. *Human Bio.*, **57**, 163-181
- Martorell, R. (1989) Body size, adaptation and function. *Human Organization*, **48**, 15-20
- Martorell, R. (1985) Child growth retardation: a discussion of its causes and its relationship to health. In *Nutritional adaptation in man*, edited by K. Blaxter and J.C. Waterlow, John Libbey, London Paris, pp 13-29
- Parizkova, J. (1974) Interrelationships between body size, body composition and function. In *advances in experimental medicine and biology* vol 49, Nutrition and malnutrition edited by Roche A.F. & Falkner F. Raven Press, New-York, pp 119-149
- Parizkova, J. (1987) Growth, functional capacity and physical fitness in normal and malnourished children. In *International nutrition in health and disease*, edited by Bourne G.H. Karger, Wld. Rev. Nut. Diet, vol 51, Basel. pp 1-44
- Snedecor, G.W. & Cochran, W.G. (1967) *Statistical methods*, 6th ed. Iowa State University Press, Ames
- Solomons, H.C. (1978) The malleability of infant motor development. *Clin. Pediatr.*, **17**, 836-840
- Spurr, G.B. & Reina, J.C. (1987) Marginal malnutrition in school-aged Colombian girls: dietary intervention and daily energy expenditure. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, **41C**, 93-104
- Stoch, M.B. & Smythe, P.M. (1976) 15-year developmental study on effects of severe malnutrition during infancy on subsequent physical growth and intellectual functioning. *Arch. Dis. Childhood*, **51**, 327-336
- Super, C.M. (1976) Environmental effects on motor development: the case of 'African infant precocity'. *Develop. Med. Child Neurol.*, **18**, 561-567
- Waterlow, J.C. (1972) Classification and definition of protein-calorie malnutrition. *Br. Med. J.*, **3**, 566-569
- Waterlow, J.C. (1990) Nutritional adaptation in man: general introduction and concepts. *Am. J. Clin. Nut.*, **51**, 259-263
- World Health Organization (1983) Measuring change in nutritional status. Guidelines for assessing the nutritional impact of supplementary feeding programmes for vulnerable groups. W.H.O., Geneva
- World Health Organization Working Group (1986) Use and interpretation of anthropometric indicators of nutritional status. *Bull. Wld. Hlth. Org.*, **64**, 929-941
- Zumrawi, F.Y., Dimond, H. & Waterlow, J.C. (1987). Effects of infection on growth in Sudanese children. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, **41C**, 453-461

PHYSICAL ACTIVITY AND ANTHROPOMETRIC AND FUNCTIONAL
CHARACTERISTICS OF MILD MALNOURISHED SENEGALESE CHILDREN

A paraitre dans: Annals of Tropical Paediatrics. International Child Health 1992 vol 12;
n°1.

Eric Benefice

Centre ORSTOM de Dakar, Sénégal (West Africa)

Received: 2 January 1991

Running heads LH: E. Bénéfice

RH: Child activity, Size and Functions in Senegal

SUMMARY

This study examines the effects of chronic malnutrition on the functional capacities and on the physical activity patterns of a group of 100 healthy Senegalese children between the ages of 10 to 13 years. Anthropometric measurements, a sub-maximal step test, spirometric tests, testing of four motor skills (foot races, jumping, throwing, gripping) were conducted and their physical activity was monitored by recording of heart rate every minute for six hours. The weights of two-thirds of these children fell below - 1 standard deviation from the NCHS/WHO norm for their ages, their test results were inferior to those of Western children, and the level of their physical activity appeared also to be low. When these children are divided on the basis of weight deficits for age into well nourished and malnourished groups, malnourished children register poorer functional performances than well nourished children, but no difference exists with respect to the intensity of physical activity. These results highlight the negative effect of malnutrition on children's physical fitness. The consequences are disturbing as the subsistence of people from the Sahelian Region depends on substantial physical labour.

INTRODUCTION

Two factors which determine the level of physical fitness should be considered in the case of protein-energy malnutrition: existing muscle mass which has a direct effect on motor performance (1) and the level of physical activity which generates a training effect (2, 3). The visible results of protein-energy malnutrition, if prolonged (4), are wasting and stunting which can contribute to the reduction of muscle mass. Physical activity, which constitutes an important part of daily energy expenditure, estimated at 31% of total energy expenditure for boys and 25% for girls (5), can be decreased to balance energy requirements when intakes are low or insufficient.

The limiting role of muscle mass in determining the working capacity of undernourished children has been well studied (6-8), but studies on physical activity are more rare. It would seem that the activity of undernourished school-age children differs little from that of well nourished children (9) as opposed to what appears to occur in pre-school-age children (10-13).

In Africa, despite the high prevalence of malnutrition (14), little work has been undertaken concerning the relationship between children's physical activity and performances (15, 16). In these non-mechanized regions, most agricultural tasks require muscular effort and the proficiency with which these difficult tasks are accomplished is directly related to the physical capacity of the individual (17, 18). Children, themselves, are full fledged producers, contributing to family subsistence.

This paper has two objectives: (i) to describe both the performances of a group of Senegalese children and their physical activity pattern; and (ii) to demonstrate the importance of nutritional status with respect to physical fitness.

SUBJECTS AND METHODS

The Physical Environment

The children who were studied come from two regions of Senegal: 41 are from the Department of Bambey in the center of the country and 59 from the Department of Podor, located in the extreme north in the bend of the Senegal River. The climate in these two regions is Sahelian: rainfall is sparse, registering between 300 mm and 600 mm throughout the rainy season from July to October followed by a very hot dry season. The principal crops are groundnuts and millet in the centre and millet, sorghum and irrigated rice in the north. The energetic content of the diet is deficient. A survey conducted several years ago in the Department of Bambey demonstrated that daily per capita nutritional intake was less than 2200 calories, with two thirds of the individuals not meeting their minimum requirements (19). In the north the situation is similarly precarious: per capita intake was 2240 calories/day and one third of the households studied did not meet their energy requirements (20). The prevalence of malnutrition is high: in the district of Bambey, 34% of children under 5 years of age who participated in a nutritional assistance program weighed less than 80% of the WHO/NCHS median for their age group (21). A sample survey in the villages located in the north revealed that 23% of pre-school-age children have weight-for-age values less than -2 standard deviations (SD) from the WHO/NCHS mean for their age group and 21% have height-for-age below -2 SD (22).

The Sample

One hundred children between the ages of 9 and 14, (46 boys and 54 girls) were recruited. Forty one of these were Wolofs from the central part of the country who were examined between January and March 1990, and 59 were young Toucouleurs from the north who were observed during school holidays from June to July 1990. As no significant somatic differences were noted between the two ethnic groups, this factor was not taken into account at this stage of the analysis.

The subjects were chosen after a preliminary demographic census which covered each household in the selected villages. In most cases no birth certificate existed, thus age was

determined from historical reconstruction, the dates of muslim religious ceremonies and, when possible, from a comparison with a child of known age from the same family. Only normal children in apparent good health who had no recent serious illness or clinical signs of malnutrition or anemia were included. Parents, administrative officials and traditional village chiefs were clearly informed as to the nature and objectives of the study and a person close to each child was invited to attend the testing which was conducted in public.

Methodology

Each child underwent a clinical and an anthropometric examination, a step-test, spirometric and athletic testing and, finally heart rate monitorings lasting six hours. Monitoring was conducted in the afternoon for those children who underwent the tests in the morning or on the following morning for those children who were tested in the afternoon.

Clothed only in underpants, children were weighed on an electronic scale, precise to the nearest 100 grams. Their standing height was measured with a Harpenden anthropometer, exact to 1 mm. Arm circumference was measured mid-way up the left arm to the nearest 1 mm with an inextensible ribbon; skinfolds surrounding the biceps and triceps (TSF) were measured at the same level with a Holtain compass accurate to within 0,2 mm. Measurements of sub-scapular and supra-iliac skinfold were also taken from the left side.

The arm muscle area (AMA) was measured according to the formula proposed by Gurney and Jelliffe (23):

$$AMA (cm^2) = (AC - \pi \times TSF)^2 / 4 .$$

Measurements of the four skinfolds permitted determination of: body density, based on Durnin and Ramahan's equation (24), percentage of body fat in the organism (%BF) according to Siri's formula (24) and finally lean body mass (LBM) by subtracting body fat from total body mass.

The children then executed spirometric manoeuvres using a portable spirometer (Micro Medical LTD, Rochester, England). While standing, they were asked to inhale fully then exhale until all air had been expelled. The best of three trial results was retained. Results for both forced vital capacity (FVC) and one second forced expiratory volume (FEV1) are shown in Table II.

The working capacity test consisted of a sub-maximal step test with the following protocol: after resting in a sitting position for 3 minutes, the children climbed up and down first a 17

cm. step, then a 23 cm. step and finally a 30 cm. step, each for 3 minutes, at a rate of 30 steps per minute, controlled by a metronome which beat on the second. Children were cheered on during the course of the test. At the end of the test there was a rest period lasting 5 minutes. During the entire 17 minutes of testing, heart rates were recorded every 15 seconds with a "Sport Tester" (Polar Electro KY, Kempele, Finland). This device is made of an emitting electrode attached to the chest by an elastic band and a receiver attached to the wrist which recorded the frequencies. Children practiced the climbing movements for a few minutes early in the morning.

The differing heights of the benches allow continuous exercise of increasing difficulty. The total mechanical work performed on climbing may be expressed by:

Work (joule) =

body weight x height of the step x 9.8 x number of mounts.

The work performed on dismounting the step was estimated as 1/3 that of climbing (25).

Thus, for the first 17 cm step, the total work performed during 1 minute would be:

$$\begin{aligned} \text{Work (J)} &= \text{body weight} \times ((0.17 + 0.17/3) \times 9.8) \times 30. \\ &= \text{body weight} \times 66.6. \end{aligned}$$

The equivalence for mechanical power, energy produced per unit of time, is set as: 1 watt = 60 joules per second (28).

Thus the mechanical power produced will be:

$$\begin{aligned} \text{Power (watt, W)} &= (\text{body weight} \times 66.6)/60. \\ &= \text{body weight} \times 1.1 \text{ (approximately } 1 \text{ W.kg}^{-1}\text{)}. \end{aligned}$$

In the same way, we can show that the power produced for the second bench is about 1.5 W.kg⁻¹ and 2 W.kg⁻¹ for the last.

The work performed and power produced were then calculated for each minute of the 9 minutes exertion test. Finally we calculated the regression equation between heart rates and power produced and the estimated amount of power that would produce a heart rate of 170 beats per minute (PWC 170) was chosen as an individual indicator of aerobic capacity of the child (25).

Finally, the children performed four physical exercises:

- (i) a dynamometer grip test to measure the maximal force developed by the forearms. This consisted of squeezing a rubber bulb connected to a manometer (Martin, Tuttlingen, RFA). The children were given three tries using both hands, and the highest readings are the ones analysed. The results are expressed in kilopascal (kpa).
- (ii) A 33 m race. The children ran barefoot on a sandy track, two-by-two, to stimulate one another; they were timed to within 0.01 sec.
- (iii) A longjump - feet together from a standing start. Distances were measured from toemarks to heelmark.

(iv) An over-arm throw with a 184 g ball of softball.

For jumping and throwing, the best of three, consecutive tries was taken as the result.

At the conclusion of the exercises, the children's pulses were recorded each minute during six hours by means of Sport-Testers; children were asked not to modify their normal activities. This length of time was chosen because it corresponded to the amount of time children could comfortably tolerate the device, given the high temperatures. The results were expressed in percentage of time at different heart rates: rate < 125 beats per minute corresponding to unstressful activity; a rate of between 125 and 140 beats per minute corresponding to moderate activity of approximately 60% of maximum heart rate and finally an intense activity, > 140 beats per minute, corresponding to 70% of maximum heart rate.

The order in which the tests were carried out was constant: clinical exam, anthropometric test, spirometric test, step test, test of motor skills. All the children were measured by the author.

The analyses of the results were conducted using the BMDP Statistical Software Package. Tests comparing means, analysis of variance and co-variance, and multiple regression were employed.

RESULTS

Although clinically in good health, these children showed weight and height deficits relative to well nourished children of the same age. Figure 1 shows the weight distribution (W/age) and height distribution (H/age) according to age, expressed as a fraction of a standard deviation (Z-score) from the NCHS mean (4). The sample's curve is situated on the left, corresponding to low values: 50% of those studied have H/age below -1SD; the weight deficit is even more pronounced, 63% having a W/age less than -1 SD. Moreover, deficits increase with age: 80% of children older than 11 years show a weight deficit of -1 SD compared to 45% of children younger than 11 (Chi 2 = 18.1, $p < 0.001$, 1 DF).

These observations are confirmed by comparing the children's mean anthropometric values with those of well nourished children from diverse origins (Table I): the somatic deficits are more pronounced in the children over 11 years of age. Values for body fat (TSF) and muscle mass (AMA) are less than the 5th percentile for the TSF and the 10th percentile for the AMA, respectively.

Lung function and motor skills test results (Table II) show that in all cases the performances of Senegalese children are worse than accepted norms for corresponding age and height. It should, however, be noted that the PWC 170 of the boys is higher than those of Ethiopian

children of the same age (5), and that they run faster and jump farther than Mexican children (31).

Recording heart rates over a period of six hours indicates in general a very moderate level of physical activity, although it is difficult to establish a basis for comparison (Table III). Variations between individuals are very large. As a rule, younger children are more active than older ones, boys under 11 years of age spend less time on moderate activities (heart rate < 125 beats/min) than older girls ($t=1.99$; $p < 0.05$) and, generally, boys spend more time on intense activities than the girls ($t=1.99$; $p < 0.05$).

An investigation was done to determine the influence of height and weight deficits on the variations in functional performances of these children, taking into account the effects of age and sex on development. The summary of multiple regressions (table IV) reveals that the part of the variance explained by W/age is, in general, 5%-7% but reaches 26% for the FVC and 34% for the AMA, which would indicate that weight deficits is a significant determinant of functional and muscular status of malnourished children. Height deficits have only a moderate influence on the variance of the AMA and gripping scores. On the other hand, weight- and height-for-age indicators do not have an impact on the variations in intensity of physical activity. In addition, it could not be shown that the level of physical activity influenced the level of performances: no relationship exists when the different categories for heart rates are used as independent variables to explain the children's performances.

Thus, two groups of children were formed, one malnourished with a W/age less than -1 SD from the reference ($n = 65$), the other well nourished, (W/age > than 1 SD; $n=35$), and the values for somatic and functional parameters and physical activity adjusted for age and sex were compared through an analysis of covariance. The equality of the slopes of the regression lines were tested and no interaction was found, except in the case of the FVC, thus permitting comparisons of adjusted means (32). In the case of the FVC, separate comparisons were made between the groups of young and old children. The results are shown in Table V. One concludes that for all of the variables tested, the well nourished children always have better scores than malnourished children. However, there is no difference regarding the level of physical activity as seen by the distribution of heart rates.

DISCUSSION

This study demonstrates that the values of anthropometric and functional parameters of a group of Senegalese school children are always inferior to those registered among well nourished children from the West. The smaller physical proportions of these children is a determining factor in the level of their functional capacities; their physical activity appears to be very moderate but there is not a significant relationship between this fact and either

nutritional status or the quality of registered performances.

These poor results may be attributed partly to methodological imperfections. The comparisons are based on the age of the subjects but age is generally not exactly known in Senegal. Nevertheless, in view of the care that has been taken, it is thought that the error is less than 1 year and probably around 6 months. A second factor to be considered is that the onset of growth during puberty appears to occur very late in Senegal, as is often the case among malnourished groups (33). This would explain the particularly mediocre results of children older than twelve years.

The conditions under which the testing was done were not favorable to the Senegalese children. Cultural and psychological factors should also be mentioned. The attainment of good results requires a high degree of motivation, a sense of competition and a measure of aggressiveness which are lacking in these children who come from a traditional environment where these values are not developed.

The methodology used in the sub-maximal step test could also give rise to an under estimation of the results. Testing was conducted on a bench and measuring the load is necessarily less precise than with an ergometric bicycle or a treadmill.

Taking into account these observations, the data from this study conform to other studies which underline the importance of body dimensions in determining the physical aptitude of undernourished children. Accordingly, in India, Satyanarayana shows that in a group of adolescents 64% of the PWC variance can be attributed to differences in weight and 10% to differences in the level of physical activity (6). In Brazil, the performances on an ergocycle of children from poorer neighborhoods are inferior to those registered by children attending private schools (34), and, among the adolescents, the weight and the stature account for 57% of the PWC variance (7). The muscular performances and physical aptitude of undernourished children, when expressed as a function of weight or muscle mass, or adjusted for height, approach or even surpass performances by European children (15, 16, 35). These observations only highlight the importance of muscle mass in the accomplishment of a physical exercise but do not imply any advantage on the part of undernourished children. Spurr et al showed that during a treadmill walking, the mechanical efficiency of undernourished children is not better than those who are well nourished (36). This implies that the anomaly is related to the quantity of available muscle mass and not to its quality. For a given task, an undernourished child must work at a higher level of his maximum oxygen uptake. It is the absolute value of the functional capacity that must be considered in evaluating the effects of malnutrition and not its relative indicators (37).

Physical activity, as evaluated through heart rate monitoring, appears to be moderate compared to other studies: monitoring heart rates for 12 hours each day for 3 days revealed that English boys and girls passed, 6.2% and 4.3% of their time, respectively, at rates greater

than 140, which was considered insufficient by the authors of the study (38). These values, however, are superior to this study's observations of 4% and 2%. Another study made of younger children between the ages of 6 and 7 years showed that they spent 75% of their time at cardiac rates less than 120 beats per minute (39), whereas young Senegalese children passed between 85% and 90% of their time at rates less than 125 beats per minute, although they were able to move about freely and were not constrained by scholastic obligations.

The evaluation of physical activity by heart rate monitoring has been criticized. Numerous factors other than effort, such as fever, emotion or anemia, can increase the pulse. In addition, when the load of a task is low, cardiac variations can arise independently of variations in the consumption of oxygen. However, in field test conditions and for population studies, the use of heart rates remains an acceptable method (40).

Our study could not demonstrate clearly the influence of nutritional status on the level of physical activity nor a relationship between physical activity and the physical aptitude of the children, although one could have anticipated a lower level of activity among malnourished children, in view of their poor performances. Several explanations are possible. First the study sample was, from a physical standpoint, very homogeneous, and the intense physical activities of children are generally brief, lasting less than 1 minute (30), thus poorly apprehended here. Nevertheless, in the same manner, studies conducted in Columbia using the heart rate accumulation method, did not show a difference between activity-related expenditures between the undernourished and well nourished (41, 42). The explanation offered by the authors was that undernourished children who play with normal children are under intense peer pressure, the energy adjustment being made in a reduction of growth rather than a decrease in activity. This explanation appears pertinent to our study also.

The study is one of the first treating the physical condition of children from the Sahel. It reaches most of the same conclusions of similar studies of the same subject conducted elsewhere. It underlines the determinant role of malnutrition and stunting in the poor muscular performances of these children. The low level of activity which was observed can also be reasonably attributed to malnutrition, which clearly highlights the problems of subsistence and development of these communities.

ACKNOWLEDGEMENT

I wish to thank the children of Lambaye, Dodel, Diamandou and Thialaga for their participation in the study. The assistance of Mrs. Modou Mbow, Daouda Ndiaye and Omar Sall who helped me in the field collection of the data is also acknowledged and appreciated.

REFERENCES

1. Astrand PO, Rodahl K. Textbook of Work Physiology. New York: MC Graw Hill, 1970.
2. Saris WHM. Habitual physical activity in children: methodology and findings in health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 1986; 18: 253-63.
3. Sunnegardh J, Brattety LE. Maximal oxygen uptake, anthropometry and physical activity in a randomly selected sample of 8 and 13 year old children in Sweden. *Eur J Appl Physiol* 1987; 56: 266-72.
4. World Health Organization. Measuring change in nutritional status. Geneva: WHO, 1983.
5. Spady DW. Total daily energy expenditure of healthy, free ranging school children. *Am J Clin Nutr* 1980; 33: 766-75.
6. Satyanarayana K, Nadamuni Naidu A, Narasinga Rao B. Nutritional deprivation in childhood and the body size, activity, and the physical work capacity of young boys. *Am J Clin Nutr*. 1979; 32: 1769-75.
7. Desai ID, Wadell C, Dutra S et al. Marginal malnutrition and reduced physical work capacity of migrant adolescent boys in Southern Brazil. *Am J Clin Nutr* 1984; 40: 135-45;
8. Barac-Nieto M, Spurr GB, Reina JC. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: body composition and maximal O₂ consumption. *Am J Clin Nutr* 1984; 39: 830-39.
9. Spurr GB, Reina JC. Patterns of daily energy expenditure in normal and marginally undernourished school-aged Colombian children. *Eur J Clin Nutr* 1988; 42: 819-34.
10. Chavez A, Martinez C, Bourges H. Nutrition and development of infants from poor rural areas. 2. Nutritional level and physical activity. *Nutr Rep Int* 1972; 5: 139-44.
11. Meeks Gardner JM, Grantham-McGregor SM, Chang SM, Powell CA. Dietary intake and observed activity of stunted and non-stunted children in Kingston, Jamaica. Part II: Observed activity. *Eur J Clin Nutr* 1980; 44: 585-93.
12. Rutishauser IHE, Whitehead RG. Energy intake and expenditure in 1-3 year old Ugandan children living in a rural environment. *Br J Nutr* 1972; 28: 145-152.
13. Scanlon K, Allen LH, Pelto GH, Chavez A, Tellez V. Activity changes in

marginally malnourished children. *Faseb Journal* 1988; 2: A 1203.

14. Keller W. The epidemiology of stunting. In: Waterlow J, ed. *Nestlé Nutrition Workshop series, vol 14. Linear Growth Retardation in Less Developed Countries*. New York: Raven Press, 1988; 17-34.

15. Areskog N. Short-time exercise and nutritional status in Ethiopian boys and young males. *Acta Paediatr Scan Suppl* 1971; 217: 138-41.

16. Davies C. Physiological responses to exercise in East african children. II The effects of shistosomiasis, anaemia and malnutrition. *Environ. Child Health* 1973; 19: 115-19.

17. Viteri FE. Nutrition and work performance. In: Scrimshaw NS & Wallerstein MB, eds. *Nutrition Policy Implementation: Issues and experience*. New York: Plenum press, 1982.

18. Satyanarayana K. Nutrition and performance: the social dimension. In: Taylor TG, Jenkins NK, eds. *Proceedings of the XIII International Congress of Nutrition, Brighton, August 18-23, 1985*. London: John Libbey.

19. Chevassus-Agnès S, Ndiaye A. Enquêtes de consommation alimentaire de l'ORANA de 1977 à 1979: méthodologie et résultats. In: *Etat Nutritionnel de la Population Rurale du Sahel: Rapport d'un Groupe de Travail*, Paris. Ottawa: Centre de Recherches pour le Developpement International. 1981;57-66.

20. Bénéfice E, Simondon F, Chevassus-Agnès S, Ndiaye AM. Etudes de nutrition dans la moyenne vallée du Sénégal. I Evolution de la ration alimentaire depuis 1958 et structure actuelle de la ration. *Bull Soc Patho Exot* 1985; 78: 110-18.

21. Echenber D, Stubbs H, King J. Evaluation du programme de protection nutritionnelle et sanitaire groupes vulnérables. Working document submitted to Agency for International Development. Washington: International Science and Technology Institut Inc. and Western Consortium for the Health Professions Inc., 1984.

22. Simondon KS, Bénéfice E. Enquête nutritionnelle familiale des villages du périmètre de Diamandou, Podor, Sénégal, ORSTOM, Dakar, 1990.

23. Gurney J, Jelliffe DB. Arm anthropometry in nutritional assessment: nomogram for rapid calculation of muscle circumference and cross-sectional muscle and fat areas. *Am J Clin Nutr* 1973; 26: 912-15.

24. Durnin J, Rahaman M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr* 1967; 21:

681-89.

25. Bar-Or O. *Médecine du sport chez l'enfant*. Duizabo, J. (trans). Paris: Masson, 1987; 317-42.
26. Cronk C, Roche AF. Race- and sex-specific reference data for triceps and subscapular skinfolds and weight/stature 2. *Am J Clin Nutr* 1982; 35: 347-54.
27. Frisancho A. New norms of upper limb fat and muscle areas for the assessment of nutritional status. *Am J Clin Nutr* 1981; 34: 2540-45.
28. Anonymous. *Tables Scientifiques Ciba-Geigy*. 7 em ed., Basel, Ciba-Geigy SA, 1972.
29. Strong WB, Spencer D, Miller MD, Salehbhai M. The physical working capacity of healthy black children. *Am J Dis Child* 1978; 132: 244-48.
30. Malina R, Roche AF. *Manual of physical status and performance in childhood*. Volume 2: Physical performance. New York: Plenum Press, 1983.
31. Malina R, Bushang P. Growth, strength and motor performance of Zapotec children, Oaxaca, Mexico. *Hum Bio* 1985; 57: 163-81.
32. Snedecor GW, Cochran WG. *Statistical Methods*, 6th edn. Ames: Iowa state university press, 1967.
33. Jelliffe DB, Jelliffe EFP. *Community nutritional assessment*. Oxford: Oxford university press, 1989.
34. Desai I, Garcia Tavarès M, Dutra de Oliveira B, et al. Anthropometric and cycloergometric assessment of the nutritional status of the children of agricultural migrant workers in southern Brazil. *Am J Clin Nutr* 1981; 34: 1925-34.
35. Ghesquière J, Eeckels R. Health, physical development of primary school children in Kinshasa. In: Illmarinen J, Välimäki I, eds. *Children and Sport*. Berlin: Springer Verlag, 1984; 18-30.
36. Spurr GB, Barac-Nieto M, Reina JC, Ramirez R. Marginal malnutrition in school-aged boys: efficiency of treadmill walking in submaximal exercise. *Am J Clin Nutr* 1984;39:452-59.
37. Spurr G. Body size, physical work capacity, and productivity in hard work: is bigger better? In: Waterlow J, ed. *Nestlé Nutrition Workshop series vol 14. Linear Growth Retardation in Less Developed Countries*. New York: Raven Press, 1988; 215-43.
38. Amstrong N, Balding J, Gentle P, Kirby B. Patterns of physical activity among 11 to 16 year old British children. *Br Med J* 1990; 301: 203-5.

39. Gilliam TB, Freedson PS, Geenen DL, Shahraray Behzad. Physical activity patterns determined by heart rate monitoring in 6-7 year-old children. *Med Sci Sports Exerc* 1981; 13: 65-67.

40. Acheson KJ, Campbell IT, Edholm OG, Miller DS, Stock MJ. The measurement of daily energy expenditure - an evaluation of some techniques. *Am J Clin Nutr* 1980; 33: 1155-64.

41. Spurr GB, Reina JC, Barac-Nieto M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: metabolic rate and estimated daily energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 1986; 44: 113-26.

42. Spurr GB, Reina JC. Marginal malnutrition in school-aged Colombian girls: dietary intervention and daily energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr* 1987; 41C: 93-104.

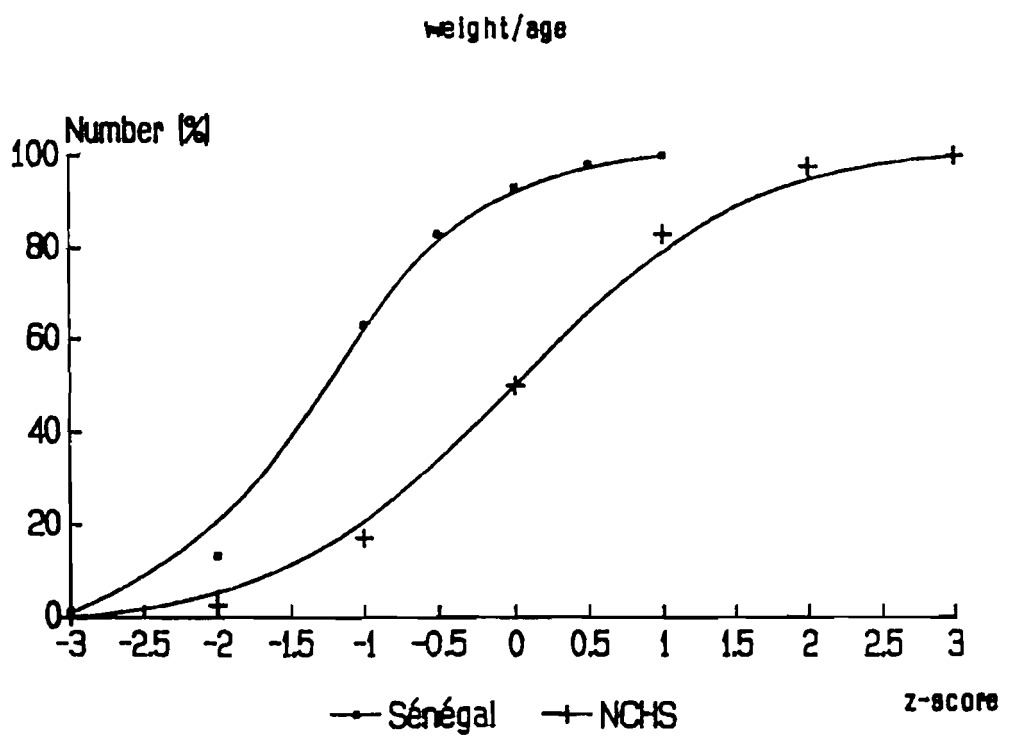
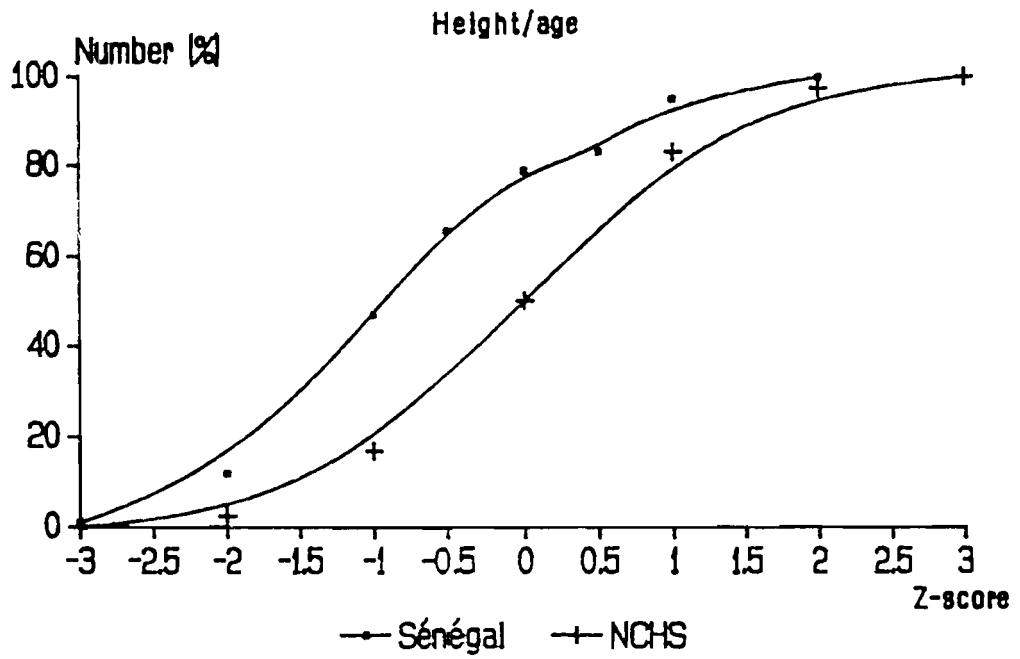


Figure n 1

Table I

Boys					
Age (Yrs)	10-11.9	reference	12-13.9	reference	
N	18		28		
Weight (kg)	26.7 * 3.6 **	31.4 (a)	29.5 2.9	39.8	
Height (cm)	134.5 6.4	137.5 (a)	141.5 6.2	149.7	
Triceps skinfold (mm)	5.4 1.2	6.9 (b)	5.2 0.8	7.1	
BMI (kg/m ²)	14.7 1.2	16.6 (b)	14.7 0.7	17.7	
% BF	12.0 2.0	-	11.9 1.5	15.9 (c)	
LBM (kg)	23.5 3.1	-	25.9 2.5	-	
AMA (cm ²)	18.0 2.9	25.7 (d)	19.9 2.7	30.2	

Girls					
N	33		21		
Weight (kg)	27.1 4.7	32.5	34.7 5.8	41.5	
Height (cm)	134.7 6.2	138.3	146.7 9.3	151.5	
Triceps skinfold (mm)	6.6 2.2	11.1	7.2 2.6	12.9	
BMI (kg/m ²)	14.8 1.5	17.1	16.1 2.1	18.7	
% BF	18.6 3.0	-	19.3 2.2	24.0	
LBM (kg)	21.9 3.1	-	27.9 4.1	-	
AMA (cm ²)	18.7 2.9	22.9	22.8 3.7	29.0	

* mean; ** 1 SD.

References: (a) 50 th percentile, data from WHO/NCHS (4)

(b) 50 th percentile of black children, data from HANES I (26).

(c) Adolescents (24).

(d) 50 th percentile, data from HANES I (27).

Table II

Boys				
Age (Yrs)	10-11.9	Reference	12-13.9	Reference
N	18		28	
FVC	1.6 *	2.0 (a)	1.8	2.3
(l)	0.2 **		0.2	
FEV1	1.4	1.7 (a)	1.5	1.8
(l)	0.1		0.2	
PWC.170	68.2	79.7 (b)	69.1	83.8
(W)	19.7		16.0	
33 m dash	6.9	5.9 (c)	6.5	5.6
(sec)	0.5		0.5	
Jumping	1.40	1.5 (c)	1.45	1.7
(m)	0.20		0.18	
Throwing	14.8	27.1 (c)	16.4	33.6
(m)	4.3		3.8	
Right hand grip	51.5	40 - 80 (d)	53.9	
(kPa)	20.6		13.4	
Girls				
N	33		21	
FVC	1.4	1.8	1.9	2.2
(l)	0.2		0.4	
FEV1	1.3	1.7	1.8	2.2
(l)	0.1		0.2	
PWC.170	54.3	62.1	76.2	86.6
(W)	13.9		24.6	
33 m dash	7.4	6.2	7.1	5.7
(sec)	1.0		1.2	
Jumping	1.28	1.33	1.39	1.57
(m)	0.22		0.26	
Throwing	11.3	14.1	15.1	17.2
(m)	2.8		4.5	
Right hand grip	42.7	40 - 80	55.0	
(kPa)	12.5		18.9	

* mean; ** 1 SD.

References: (a) Tables scientifiques, Ciba Geigy, (28).
 (b) Healthy black American children (29).
 (c) Black children from Philadelphia (30).
 (d) Ranges proposed by the maker of the apparatus
 (Gebrüder Martin, Tuttlingen)..

Table III

	Boys		Girls	
	10-11.9	12-13.9	10-11.9	12-13.9
Age (Yrs)				
N	17	28	31	19
% HR<125	86.4 (1) 18.6 (2)	92.3 9.9	91.1 8.9	94.1 6.1
Two-way analysis of variance				
Effect				
age	F = 3.5 (p<0.05)			
sex	F = 1.9 (ns)			
% 125<HR<140	9.4 15.0	5.0 7.2	5.9 6.6	3.9 4.3
Two-way analysis of variance				
Effect				
age	F=3.0 (p<0.08)			
sex	F=1.7 (ns)			
% HR> 140	4.1 4.2	2.6 3.0	2.1 2.2	2.1 2.4
Two-way analysis of variance				
Effect				
age	F=1.5 (ns)			
sex	F=3.6 (p<0.05)			

(1) mean; (2) 1 standard-deviation
ns: not significant.

Table IV

Dependant variable	Step	Entered variables	Multiple R	R2	Change in R2	F to enter
%BF	1	Sex	0.83	0.69	0.69	219.1
	2	W/age	0.86	0.74	0.05	20.2
	3	age	0.88	0.78	0.04	17.9
AMA	1	age	0.47	0.22	0.22	27.9
	2	W/age	0.75	0.57	0.34	78.8
	3	H/age	0.79	0.63	0.06	16.9
PWC	1	age	0.44	0.19	0.19	23.2
	2	W/age	0.48	0.24	0.04	5.8
FVC	1	age	0.55	0.30	0.30	42.9
	2	W/age	0.75	0.57	0.26	58.3
	3	sex	0.77	0.59	0.02	6.4
33 m dash	1	sex	0.31	0.09	0.09	10.5
	2	age	0.38	0.14	0.05	5.7
	3	W/age	0.45	0.20	0.05	6.4
Jumping	1	age	0.28	0.08	0.08	8.9
Throwing	1	age	0.41	0.17	0.17	20.6
	2	sex	0.49	0.23	0.06	8.4
	3	W/age	0.58	0.34	0.10	15.4
Hand grip	1	age	0.22	0.05	0.05	5.1
	2	W/age	0.34	0.12	0.07	7.9
	3	H/age	0.40	0.16	0.04	4.7
	4	sex	0.45	0.20	0.04	4.9

Table V

Variables	Status	Adjusted mean	Standard error	t-test	p (1)
% BF	Wasted	15.0	0.28	3.5	<0.001
	Normal	16.9	0.39		
AMA (cm ²)	Wasted	18.7	0.33	6.0	<0.001
	Normal	21.8	0.47		
PWC 170 (W)	Wasted	60.9	2.8	3.2	<0.001
	Normal	75.1	4.4		
FVC (<132) (1) (1)	Wasted	1.33	0.04	4.5	<0.001
	Normal	1.61	0.04		
FVC (>132) (1)	Wasted	1.73	0.03	4.7	<0.001
	Normal	2.23	0.09		
33 m dash (sec)	Wasted	7.22	0.10	2.9	<0.01
	Normal	6.60	0.15		
Jumping (m)	Wasted	1.34	0.02	1.9	<0.05
	Normal	1.43	0.03		
Throwing (m)	Wasted	13.4	0.4	2.7	<0.01
	Normal	15.7	0.6		
Hand grip (kpa)	Wasted	47.5	2.0	1.9	<0.05
	Normal	54.6	2.9		
% HR > 125	Wasted	8.85	1.45	0.37	ns
	Normal	7.85	2.06		

(1) Significant interaction with age:

age < 132 months: Wasted n=22; Normal n=27.

age > 132 months: Wasted n=42; Normal n=7.