



INFLUENCE DE LA MALNUTRITION
PROTÉINO-ÉNERGÉTIQUE MODÉRÉE
DES ENFANTS D'ÂGE PRÉSCOLAIRE
SUR QUELQUES VARIABLES BIOCHIMIQUES

Utilisation d'indicateurs biochimiques pour une détection précoce

~~1979-441~~

F. DELPEUCH, A. CORNU, Ph. CHEVALIER

INTRODUCTION

Les troubles d'ordre nutritionnel dominent en général la pathologie des premières années de la vie dans les pays en voie de développement [JELLIFFE D.B., 1966 ; SATGER, 1972 ; WHEELER E.F., 1975]. Les carences et déséquilibres protéino-énergétiques sont les plus répandus. Il s'agit, dans la grande majorité des cas, de formes frustes ou modérées de malnutrition [SATGE P., 1972]. Ce sont souvent des formes négligées, car méconnues des populations en raison de l'absence de signes cliniques caractéristiques, et mal dépistées faute de moyens corrects et de techniques appropriées. Pourtant, du point de vue de la santé publique, la reconnaissance de ces formes apparaît primordiale compte tenu de leur incidence sur le développement physique et intellectuel [FAO O.M.S., 1970, BAILEY K.V., 1975 ; HOORWEG, RAIMBAULT *et al.*, 1976] et les défenses immunologiques des enfants [NEUMANN *et al.*, 1975].

La plupart des techniques d'appréciation des malnutritions protéino-énergétiques font appel à des critères anthropométriques simples, poids et fonction

1975]. Les conclusions quant à l'évolution des autres fractions électrophorétiques des protéines sériques paraissent moins nettes. Pour certains auteurs le taux et la synthèse des gamma globulines ne seraient pas diminués lors du Kwashiorkor [Mac FARLANE *et al.*, 1970; NAHANI *et al.*, 1976; COHEN *et al.*, 1962]. Au contraire des augmentations de la teneur en gamma globulines ont plusieurs fois été observées chez des enfants sévèrement malnutris [NEUMANN *et al.*, 1975; PRASANNA *et al.*, 1971].

Plus récemment ont été étudiées diverses protéines sériques dont l'origine hépatique pouvait laisser supposer, compte tenu de la sensibilité bien connue du foie à la malnutrition protéino-énergétique, une diminution précoce de leur synthèse. INGENBLEEK *et al.* (1972) ont décrit chez des enfants sénégalais malnutris des variations très rapides du taux de la préalbumine au cours de la réalimentation. De très fortes diminutions de la préalbumine ont été relevées dans plusieurs régions du monde aussi bien en cas de Kwashiorkor que de marasme [REEDS *et al.*, 1976; SMITH *et al.*, 1975; SCHELP *et al.*, 1976]. La transferrine sérique est également très abaissée par la malnutrition; de nombreux travaux ont montré son intérêt en tant qu'indicateur du degré de sévérité de la malnutrition [NEUMANN *et al.*, 1975; Mc FARLANE *et al.*, 1970; ANTIA *et al.*, 1968; DIWANY *et al.*, 1972; GABR *et al.*, 1971; RAZBAN *et al.*, 1975] et du pronostic de survie [REEDS *et al.*, 1976]; par ailleurs des corrélations significatives entre le taux de transferrine et plusieurs critères anthropométriques ont été mis en évidence [REEDS *et al.*, 1976]. La fraction C₃ du complément est aussi une des protéines sériques dont la teneur est réduite lors des malnutritions sévères [NEUMANN *et al.*, 1975; RAZBAN *et al.*, 1975]; remarquons cependant que cette diminution n'a pas toujours été observée [NAHANI *et al.*, 1976].

Enfin, l'index d'hydroxyproline urinaire défini par WHITEHEAD (1965) s'est révélé être l'un des indicateurs les plus sensibles des états de malnutrition [WHITEHEAD R.G., 1967; KATZ St.I., 1970]. Des fortes corrélations de cet index avec l'anthropométrie [RUTISHAUSER I.H.E., 1969] montrent qu'il pourrait être utile pour la détection des malnutritions marginales.

Dans le présent travail nous nous proposons de comparer les taux de plusieurs variables biochimiques chez des enfants témoins bien portants et chez des enfants atteints de malnutrition modérée à l'exclusion des formes cliniques graves. Une étude de corrélation avec les critères anthropométriques couramment utilisés devrait nous permettre de sélectionner les variables biochimiques les plus sensibles.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

ENFANTS

810 enfants âgés de 1 à 60 mois ont été étudiés dans la région forestière du Sud-Cameroun. L'alimentation de base, surtout constituée de manioc, banane

plantain et divers tubercules, se caractérise par un apport protéique faible et de qualité médiocre parfois associé à un déficit énergétique. Le Kwashiorkor constitue la principale forme grave de malnutrition de cette zone. Les cas de marasme sont exceptionnels et le plus souvent consécutifs à des maladies infectieuses telles que la rougeole. Les enfants ont été divisés en deux groupes en fonction de leur état nutritionnel apprécié par l'anthropométrie (tableau I). Le groupe I (enfants témoins) est constitué par des enfants dont les mesures anthropométriques correspondent aux données suivantes : poids en fonction de l'âge supérieur à 80 % du 50^e percentile des standards de Harvard [JELLIFFE D.B., 1966] ; poids en fonction de la taille supérieur à 90 % ; tour de bras en fonction de l'âge supérieur à 85 % des standards de WOLANSKI [JELLIFFE D.B., 1966] ; rapport tour de bras sur tour de tête supérieur à 0,290. L'utilisation simultanée de plusieurs critères pondéraux et brachiaux a permis de mieux assurer le diagnostic d'un bon état de nutrition. En outre ces enfants ne présentent aucun signe clinique franc de malnutrition ou d'infection grave ; signalons cependant que paludisme et parasitisme intestinal sont constants dans cette région. Le groupe I représente le meilleur groupe d'enfants bien nourris qui puisse être obtenu dans les conditions écologiques de la zone forestière du Sud-Cameroun.

TABLEAU I

Age, sexe et données anthropométriques des enfants témoins et modérément malnutris

	Groupe I Enfants témoins	Groupe II Enfants malnutris
n	482	328
Age :		
1-6 mois (n)	99	18
7-12 mois	57	42
13-18 mois	52	66
19-24 mois	44	52
25-36 mois	80	65
37-48 mois	80	40
49-60 mois	70	45
Age moyen en mois	25,9 ± 0,9 ^a	26,7 ± 0,9
Sexe :		
Garçon (n)	237	154
Fille (n)	245	174
Poids en fonction de l'âge (en % du standard) ..	99,1 ± 0,6 ^a	82,5 ± 0,6
Poids en fonction de la taille (en % du standard)	103,6 ± 0,5	91,4 ± 0,4
Tour de bras en fonction de l'âge (en % du standard)	96,6 ± 0,3	84,7 ± 0,3
Tour de bras/tour de tête	0,321 ± 0,001	0,287 ± 0,001
a : moyenne ± erreur standard.		

Le groupe II (enfants modérément malnutris) est constitué par des enfants

qui ont au moins un des critères anthropométriques inférieur aux seuils fixés ci-dessus. Ces enfants ne présentent pas non plus de signes cliniques francs de malnutrition ; de plus leurs déficits anthropométriques sont toujours modérés et n'atteignent jamais les valeurs rencontrées lors des malnutritions sévères. Les valeurs moyennes portées dans le tableau I attestent de la modération des déficits pondéraux et brachiaux des enfants du groupe II. Toutes les mesures anthropométriques ont été effectuées selon les procédés standardisés décrits dans JELLIFFE (1966) par le même personnel et avec le même matériel régulièrement contrôlé.

DOSAGES BIOCHIMIQUES

Les prélèvements sanguins ont été réalisés par ponction à la veine fémorale avec un système de tubes sous vide. Une collecte unique d'urine du matin a été effectuée. Le sérum, obtenu après coagulation et centrifugation du sang, et l'urine ont été conservés à -20°C en attendant les dosages. Les échantillons des groupes I et II ont été strictement traités dans les mêmes conditions.

Dans le tableau II sont rassemblées les valeurs moyennes des variables biochimiques pour les deux groupes d'enfants. Seuls les protides sériques totaux ainsi que les globulines alpha 1 et alpha 2 ne diffèrent pas significativement entre les deux groupes ($P > 0,05$). En revanche des diminutions hautement significatives ($P < 0,001$) de la préalbumine, de la transferrine, de l'index d'hydroxyproline et du rapport albumine/globulines sont observées chez le groupe des enfants malnutris; inversement les gamma globulines sont augmentées. Les différences relatives à l'albumine, à la fraction C₃ du complément ($P < 0,01$) et aux beta globulines ($P < 0,05$) sont moins nettes.

TABLEAU II

Protéines sériques et urinaires des enfants témoins et modérément malnutris

Protéines	Groupe I Enfants témoins	Groupe II Enfants malnutris	P
Protéines sériques totales (g/100 ml) ..	6,91 \mp 0,03a	6,94 \mp 0,04	NSb
Albumine (g/100 ml)	3,72 \mp 0,02	3,60 \mp 0,03	< 0,01
Alpha ₁ globulines (g/100 ml)	0,25 \mp 0,01	0,26 \mp 0,01	NS
Alpha ₂ globulines (g/100 ml)	0,99 \mp 0,01	0,99 \mp 0,01	NS
Bêta globulines (g/100 ml)	0,74 \mp 0,01	0,72 \mp 0,01	< 0,05
Gamma globulines (g/100 ml)	1,22 \mp 0,02	1,37 \mp 0,02	< 0,001
Albumine/globulines	1,19 \mp 0,01	1,12 \mp 0,01	< 0,001
Préalbumine (mg/100 ml)	13,2 \mp 0,2	11,8 \mp 0,2	< 0,001
Transferrine (mg/100 ml)	302,4 \mp 2,8	281,3 \mp 3,6	< 0,001
Fraction C ₃ du complément (mg/100ml)	86,9 \mp 0,8	82,7 \mp 1,0	< 0,01
Index d'hydroxyproline urinaire	3,43 \mp 0,06	2,77 \mp 0,07	< 0,001

a : moyenne \mp erreur standard.
b : différence non significative $P > 0,05$.

Dans le but de vérifier l'influence de la malnutrition sur les paramètres biochimiques étudiés on a calculé les coefficients de corrélation de chaque variable biochimique avec chaque critère anthropométrique (tableau III). Bien que de nombreux coefficients soient relativement faibles la plupart sont statistiquement significatifs ($P < 0,05$).

L'index d'hydroxyproline, la transferrine, le rapport albumine/globulines, la préalbumine et les gamma globulines (corrélation négative) apparaissent comme les paramètres biochimiques les mieux corrélés à l'ensemble des critères anthropométriques. Remarquons aussi que les corrélations sont en général plus

TABLEAU III

Coefficients de corrélation (r) et seuils de signification (P) des critères anthropométriques avec les variables biochimiques chez 810 enfants

	Poids en fonction de l'âge		Poids en fonction de la taille		Tour de bras en fonction de l'âge		Tour de bras Tour de tête	
	r	P	r	P	r	P	r	P
Protéines sériques totales	-0,0918	< 0,01	-0,0925	< 0,01	-0,0615	NS ^a	0,0131	NS
Albumine	0,1056	< 0,005	0,0496	NS	0,1800	< 0,001	0,2126	< 0,001
Alpha ₁ globulines	-0,0964	< 0,01	-0,0648	NS	-0,1103	< 0,005	-0,0974	< 0,005
Alpha ₂ globulines	0,0072	< 0,05	-0,0324	NS	0,0623	NS	0,1210	< 0,001
Bêta globulines	0,0546	NS	0,0903	< 0,025	0,0846	< 0,025	0,1454	< 0,001
Gamma globulines	-0,3152	< 0,001	-0,2612	< 0,001	-0,3550	< 0,001	-0,2936	< 0,001
Albumine/globulines	0,2433	< 0,001	0,1606	< 0,001	0,2969	< 0,001	0,2679	< 0,001
Préalbumine	0,1481	< 0,001	0,1402	< 0,001	0,2521	< 0,001	0,2314	< 0,001
Transferrine	0,2309	< 0,001	0,2116	< 0,001	0,2668	< 0,001	0,2654	< 0,001
Fraction C ₃ du complément	0,1284	< 0,001	0,1439	< 0,001	0,1982	< 0,001	0,2229	< 0,001
Index d'hydroxyproline	0,3817	< 0,001	0,3838	< 0,001	0,4008	< 0,001	0,3437	< 0,001

a : corrélation non significative P > 0,05.

fortes avec les critères brachiaux qu'avec les critères pondéraux. Protéines sériques totales et fractions électrophorétiques, à l'exception des gamma globulines, sont peu ou pas corrélées avec l'anthropométrie.

DISCUSSION

Les valeurs moyennes des différentes variables biochimiques des enfants témoins du groupe I sont en général comparables à celles rapportées par d'autres auteurs pour des enfants du même âge. Ainsi les teneurs en protides totaux et fractions électrophorétiques sont-elles très voisines des valeurs normales données par BOHDAL et SIMMONS (1969) pour l'enfant africain. L'hypergammaglobulinémie, phénomène observé depuis longtemps en Afrique [CHARMOT *et al.*, 1960] est ici relativement modérée. Comparé à ceux d'enfants européens du même âge, 17 à 21 mg/100 ml [VAHLQUIST *et al.*, 1975] ou d'enfants sénégalais réalimentés, 22,3 mg/100 ml [INGENBLEEK *et al.*, 1972], le taux de préalbumine du groupe I peut paraître faible ; il est cependant du même ordre de grandeur que ceux d'enfants égyptiens, 14,5 mg/100 ml [SMITH *et al.*, 1973] et thaïlandais, 12,9 mg/100 ml [SCHELP *et al.*, 1976] bien portants.

Les valeurs de la transferrine et de la fraction C₃ du complément sont identiques à celles observées par NEUMANN (1975) chez des enfants ghanéens témoins soit respectivement 310,7 mg/100 ml et 86,9 mg/100 ml ; en revanche d'autres auteurs mentionnent pour des enfants, des valeurs normales sensiblement différentes. C'est ainsi que la concentration de transferrine peut varier entre 210 mg/100 ml [RAZBAN *et al.*, 1975] et 338 mg/100 ml [INGENBLEEK *et al.*, 1975] et celle de la fraction C₃ du complément entre 72 mg/100 ml [RAZBAN *et al.*, 1975] et 145 mg/100 ml [NAHANI *et al.*, 1976].

Ces variations considérables de valeurs données pour normales peuvent s'expliquer par des différences entre les zones écologiques où se sont effectuées les études (zone équatoriale humide, zone sahélienne ou subtropicale), mais aussi par des différences dans la définition des groupes d'enfants témoins supposés bien nourris. Bien souvent les résultats ne peuvent pas être comparés valablement en raison de l'insuffisance numérique des groupes témoins ou de leur mauvaise définition basée sur un seul critère anthropométrique. Il importe donc d'avoir pour chaque zone écologique des valeurs normales issues de groupes témoins bien définis avec lesquelles on puisse comparer les valeurs relevées en cas de malnutrition.

Ceci apparaît particulièrement important à la lumière des résultats de notre étude qui montrent une incidence faible mais significative de la malnutrition modérée sur de nombreuses variables biochimiques. Compte tenu des variations assez réduites, l'influence de la malnutrition ne peut être mise en évidence

que par comparaison avec des enfants bien nourris issus de la même population. En effet, bien que les protéines sériques d'origine hépatique apparaissent comme les plus sensibles, on est loin d'observer dans le groupe II des taux aussi bas que ceux rencontrés dans les formes très sévères de malnutrition. Ainsi, dans le Kwashiorkor la préalbumine peut descendre à 5 mg/100 ml [INGENBLEEK *et al.*, 1972 ; SMITH *et al.*, 1973], la transferrine à 50 mg/100 ml [REEDS *et al.*, 1976], la fraction du complément à 30 mg/100 ml [RAZBAN *et al.*, 1975]. Les concentrations moyennes de notre groupe d'enfants modérément malnutris, soit respectivement 11,8 mg/100 ml, 281,3 mg/100 ml, 82,7 mg/100 ml, restent très éloignées de ces valeurs extrêmes. Pourtant les diminutions significatives enregistrées dans le groupe II sont à interpréter comme autant de signes de dysfonctionnement métabolique ; à ce titre elles peuvent être intéressantes pour un diagnostic précoce. En revanche il semble qu'il y ait peu à attendre des protides totaux et de leurs fractions électrophorétiques. Seules les gamma globulines présentent une variation réellement significative ; cependant on peut douter d'un effet vraiment spécifique de la malnutrition. Il s'agirait plutôt d'une augmentation due au synergisme de deux effets, malnutrition et infection ; la synthèse des immuno-globulines G est d'ailleurs très fortement augmentée dans les cas de Kwashiorkor compliqués par des infections [COHEN *et al.*, 1962]. De ce fait les gamma globulines pourraient conserver un intérêt en tant qu'indicateur global de l'état de santé de l'enfant. Quant à l'index d'hydroxyproline, nos résultats sont en accord avec ceux de WHITEHEAD (1965) et RUTISHAUSER (1969), et confirment une nette influence de la malnutrition sur cette variable. Cependant, la valeur moyenne du groupe des enfants témoins apparaît assez élevée, 3,43, et celle du groupe à malnutrition modérée, 2,77, reste largement dans la fourchette normale indiquée par WHITEHEAD soit 2,0 - 5,0 (1965).

Quoi qu'il en soit, ces résultats nous permettent-ils de conclure quant à l'utilisation des variables biochimiques pour la détection précoce des états de malnutrition ? La relative faiblesse des variations observées, associée aux distributions assez larges des valeurs individuelles nous incite à penser qu'aucun des paramètres biochimiques étudiés dans le présent travail ne peut être utilisé isolément pour assurer un diagnostic de malnutrition fruste.

De plus, des travaux récents ont bien montré que l'interprétation d'une mesure biochimique isolée est en général rendue très délicate du fait de l'interaction de facteurs autres que la malnutrition : la diminution du complément est souvent la résultante d'une synthèse réduite par la malnutrition et d'une utilisation accrue par les infections [NEUMANN *et al.*, 1975 ; CHANDRA R.K., 1975] ; les différentes fractions du complément semblent également être dépendantes du métabolisme minéral [CHEVALIER Ph. *et al.*] ; l'anémie ferriprive augmenterait la libération de transferrine [INGENBLEEK *et al.*, 1975] ; enfin, l'index d'hydroxyproline serait fortement affecté par le paludisme et dans une moindre mesure par le parasitisme intestinal et la bilharziose [WENLOCK R.W., 1977].

TABLEAU IV

*Coefficients de corrélation (r) et seuils de signification (P)
entre variables biochimiques chez 810 enfants*

	Albumine		Préalbumine	Transferrine		Index d'hydroxyproline	
	Globulines			r	P	r	P
	r	P					
Albumine/globulines	1,0	—					
Préalbumine	0,2944	< 0,001	1,0	—			
Transferrine	0,2504	< 0,001	0,2875	< 0,001	1,0	—	
Index d'hydroxyproline	0,2886	< 0,001	0,2191	< 0,001	0,2298	< 0,001	1,0 —
Fraction C ₃ du complément	0,1584	< 0,001	0,1332	< 0,001	0,2408	< 0,001	0,0762 < 0,05

Il semble donc qu'un bilan basé sur plusieurs paramètres soit toujours préférable. Notre travail montre que le rapport Albumine/Globulines, la préalbumine, la transferrine et l'index d'hydroxyproline pourraient constituer une batterie de tests utilisables pour l'appréciation des malnutritions frustes. Les résultats du tableau IV indiquent des associations hautement significatives ($P < 0,001$) entre toutes ces variables. Il s'agit vraisemblablement, au moins pour certaines d'entre elles, de corrélations indirectes. Elles montrent qu'une altération, même légère, du métabolisme peut conduire à des réductions simultanées du taux de nombreux métabolites.

Les corrélations, plus faibles, de la fraction C_3 du complément avec les autres variables biochimiques confirment la moindre sensibilité de ce paramètre à la malnutrition protéino-énergétique. Dans tous les cas l'utilisation de ces quelques tests biochimiques pour la détection précoce des malnutritions ne sera possible que si leurs valeurs sont comparées à celles d'un groupe témoin constitué par des enfants de la même population, du même âge et soumis à des conditions d'environnement identiques.

Pour l'instant des travaux sont en cours afin d'évaluer l'intérêt des variables mentionnées ci-dessus pour le pronostic de l'évolution des états de malnutrition modérée.

SUMMARY

The efficiency of several biochemical parameters as indicators of moderate protein-energy malnutrition was investigated. 810 children aged under 5 years were studied in the forest region of southern Cameroon. The children were divided into groups of controls children and moderately malnourished children based on anthropometry.

The means values of most of the biochemical parameters were decreased in the malnourished group. Prealbumin, Transferrin, Hydroxyproline index and Albumin/Globulins ratio showed the most significant decreases.

There were highly significant ($P < 0.001$) correlations between these parameters and all the anthropometric tests.

It is concluded that biochemical tests studied are of value in detection of mild protein-energy malnutrition but only when used together and compared with levels in a control group of the same age and the same population.

Because of the slight decreases, large distributions of individual values and interaction of factors others than malnutrition, interpretation of a single test appears to be very complex.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANTIA A.U., MC FARLANE H., SOOTHILL J.F., 1968. Serum siderophilin in Kwashiorkor. *Am. J. Dis. Child.* 49: 450. *Dis. Child.* 1975. Malnutrition in the African region

Arch. Dis. Childh., **50**, 225. — CHARMOT G., GIUDICELLI P., RIGAUD J.L., 1960. La dysprotéïnémie commune de l'Africain. Essai d'interprétation. *Bull. Soc. Path. Ex.*, **3**, 582. — CHEVALIER Ph., DELPEUCH F., CORNU A., JOSEPH A. Résultats non publiés. — COHEN S., HANSEN J.D.L., 1962. Metabolism of albumin and gammaglobulin in kwashiorkor. *Clin. Sci.*, **23**, 351. — COWARD W.A., 1975. Serum colloidal osmotic pressure in the development of kwashiorkor and in recovery : its relationship to albumin and globulin concentrations and oedema. *Br. J. Nutr.*, **34**, 459. — DE GWYNN E.R., SANJUR D., 1974. Nutritional anthropometry : diet and health related correlates among preschool children in Bogota, Columbia. *Ecol. Food. Nutr.*, **3**, 273. — DIWANY M., GABR M., EL HAWARY M.F.S., EL DALI M., 1972. La transferrine du sérum dans le kwashiorkor. *Rev. Int. Pédiatr.*, **24**, 49.

polyacrylamide gel electrophoresis and immunoassay. *Br. J. Nutr.*, **35**, 211. — SHAKIR A., 1975. Arm circumference in the surveillance of P.C.M. in Bagdad. *Am. J. Clin. Nutr.*, **28**, 661.

SMITH F.R., GOODMAN D.S., ZAAKLAMA M.S., GABR M.K., EL MARACHY S., PATWARDHANV N., 1973. Serum vitamin A, retinol-binding protein and prealbumin concentrations in P.C.M.I. A functional defect in hepatic retinol release. *Am. J. Clin. Nutr.*, **26**, 973. — SMITH F.R., SUSKIND R., THANANGKUL O., LEITZMANN C., GOODMAN DEW. S., OLSON R.E., 1975. Plasma vitamin A, retinol binding protein and prealbumin concentrations in P.C.M. III. Response to varying dietary treatments. *Am. J. Clin. Nutr.*, **28**, 732.

SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1967. *Statistical Methods*. Ames : Iowa State Univ. Press. — VAHLQUIST A., RASK L., PETERSON P.A., BERG T., 1975. The concentrations of Retinol-binding protein, Prealbumin and Transferrin in the sera of newly delivered mothers and children of various ages. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **35**, 569. — WATERLOW J.C., 1972. Classification and definition of protein-caloric malnutrition. *Brit. Med. J.*, **iii**, 566. — WENLOCK R.W., 1977. Hydroxyproline index as a tool for nutrition status surveys in malarial regions. *Br. J. Nutr.*, **38**, 239. — WHEELER E.F., 1975. Changes in anthropometric measurements of children recovery from protein-energy malnutrition. *Proc. Nut. Soc.*, **34** (1), 35. — WHITEHEAD R.G., 1965. Hydroxyproline creatinine ratio as an index of nutritional status and rate growth. *Lancet*, **ii**, 567. — WHITEHEAD R.G., 1967. Biochemical tests in differential diagnosis of protein and caloric deficiencies. *Arch. Dis. Childh.*, **42**, 479. — Comité mixte F.A.O./O.M.S. d'experts de la nutrition, 1970. O.M.S., rapport technique n° 477.