

## VARIATION DE LA COMPOSITION EN ACIDES AMINÉS DU SANG PORTE AU COURS DE LA DIGESTION CHEZ LE PORC.

R. PION, G. FAUCONNEAU, A. RÉRAT

Avec la collaboration technique de J. d'ANGELO, Madeleine FORIGNON et Jeanine WAGNER

*Laboratoire des Métabolismes et Station de Recherches sur l'Élevage des Porcs  
Centre national de Recherches zootechniques, Jouy-en-Josas (Seine-et-Oise)*

---

### SOMMAIRE

Huit porcelets de 25 kg porteurs de fistules de la veine porte reçoivent des repas constitués : d'amidon, associé ou non à différentes protéines (arachide, farine de hareng), ou d'orge. Des prélèvements de sang porte sont effectués pendant huit heures après les repas. Les acides aminés du sang total sont dosés après séparation par chromatographie sur papier. Chez les animaux à jeun, les proportions des divers acides aminés sont relativement constantes, bien que l'aminoacidémie globale varie avec les sujets. Après les repas, l'aminoacidémie est augmentée pendant huit heures environ, le maximum a été observé entre deux et trois heures. Les variations de chacun des acides aminés indispensables sont caractéristiques de la protéine ingérée et les augmentations peuvent souvent être reliées à la composition des protéines ingérées.

---

### INTRODUCTION

Les acides aminés libres sont relativement peu abondants dans le sang des mammifères, 200 à 400 mg/litre dans le sang de porc (PION *et al.*, 1963), bien qu'ils constituent la principale forme de transport des composés azotés vers les lieux d'utilisation : glande mammaire (BARRY, 1961), muscle, foie. En outre, les acides aminés présents dans ces différents organes ne représentent qu'une faible proportion de ceux qui s'y trouvent sous forme de protéines : 1/200<sup>e</sup> à 1/1 000<sup>e</sup> suivant les acides aminés (PION *et al.*, 1963).

Dans ces conditions, la réserve métabolique des acides aminés libres est très limitée ; aussi les synthèses protéiques nécessaires à la constitution de nouveaux tissus (croissance) et au renouvellement des tissus existants (entretien) doivent-elles se faire essentiellement à partir des acides aminés indispensables provenant de l'alimentation.

Comme la synthèse d'une protéine donnée nécessite la présence simultanée de

tous les acides aminés qui la constituent, l'utilisation de ces derniers dépendra de la vitesse relative à laquelle les divers acides aminés seront mis à la disposition des différents tissus. Or, les acides aminés alimentaires sont fournis à l'animal principalement sous forme de protéines qui sont hydrolysées dans le tube digestif. Les produits de cette hydrolyse traversent la paroi intestinale et sont transportés vers les différents organes. Selon DAWSON et PORTER (1962), chez le rat, ce transport s'effectue en majeure partie sous forme d'acides aminés libres par la veine porte, qui draine vers le foie le sang provenant de l'intestin. Les quantités transportées peuvent être importantes, malgré la faiblesse de la teneur du sang en acides aminés libres, car d'après nos premières observations, le débit sanguin porte semble très élevé (0,5 à 1 litre/minute chez un porc de 30 kg). La vitesse à laquelle les différents acides aminés provenant d'un aliment donné apparaissent dans la veine porte doit donc conditionner leur utilisation. Cette vitesse dépend : de leur cinétique de libération dans la lumière de l'intestin, de la rapidité de leur absorption par la muqueuse de cet organe, des métabolisations éventuelles subies à ce niveau : synthèse protéique, transaminations. Les acides aminés apparaissant dans le sang porte peuvent également avoir une origine endogène (desquamations de la paroi intestinale, sucs digestifs).

Le dosage des acides aminés dans le sang porte à un instant donné ne fournit en principe qu'une estimation imparfaite des apports dus au tube digestif, car les concentrations dépendent également de la composition du sang artériel qui irrigue l'intestin (variable en fonction de l'utilisation par les tissus) et des modifications possibles de débit du sang porte au cours de la digestion.

Ceci peut expliquer que de nombreux auteurs (DENT et SCHILLING, 1949; DENTON et ELVEHJEM, 1954; WHEELER et MORGAN, 1958; GUGGENHEIM, HALÉVY et FRIEDMANN, 1960; GOLDBERG et GUGGENHEIM, 1962; DAWSON et PORTER, 1962; DAWSON et HOLDSWORTH, 1962, PERAINO et HARPER, 1963), n'aient pu, chez le chien et chez le rat, établir un parallélisme rigoureux entre les compositions en acides aminés des protéines ingérées et celles du sang porte. Cependant, les apports d'acides libres dans le sang porte sont le résultat final de la digestion des protéines alimentaires et l'étude des variations de leurs concentrations dans le sang porte constitue, compte tenu des restrictions énoncées ci-dessus, (composition du sang artériel, débit) un moyen d'évaluer ces apports.

Nous avons, dans une communication précédente (PION et *al.*, 1963) exposé les variations de la composition en acides aminés du sang porte chez le porcelet après quelques résultats expérimentaux. Ces expériences ont été complétées, et nous avons regroupé dans ce mémoire les résultats obtenus au cours d'une trentaine de repas expérimentaux.

#### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Huit porcelets de 20 à 25 kg, porteurs de fistules permanentes de la veine porte (ARSAC et RÉRAT, 1962) reçoivent une ration de base dont la composition centésimale était la suivante (en poids) :

farine de hareng de Norvège .....	21,6
amidon .....	65,4
cellulose .....	5
huile d'arachide .....	5
minéraux et vitamines .....	3

Des repas expérimentaux de composition variable sont donnés le matin (tabl. 1). Il s'agit soit de la ration de base dans laquelle varient les proportions d'amidon et de farine de hareng, soit d'amidon seul (repas sans azote) soit d'orge, soit d'amidon et d'arachide. Dans tous les cas, ces aliments sont associés à un mélange minéral et vitaminique équilibré. Les animaux sont à jeun depuis au moins quinze heures.

TABLEAU I

*Composition des repas expérimentaux*

Nature (1)	Matières azotées (%)	Quantité ingérée (g)	Nombre de repas
Amidon	0	150 à 400	5
Amidon + farine de hareng	16	300	5
— — —	16	400	6
— — —	22	340	1
— — —	8	400	1
Farine de hareng seule	80	60 à 80	3
Amidon + arachide	16	400	6
Orge	13	300 à 500	5

(1) Tous les aliments contiennent en outre le mélange minéral et vitaminique

Les prélèvements de sang porte (10 ml environ) sont effectués au début du repas (temps zéro), et à des temps variables après celui-ci (trois au maximum). Le sang, prélevé à la seringue, sans créer de forte dépression dans la canule, est mélangé immédiatement avec environ 7 fois son volume d'éthanol à 95° froid (— 5°C environ). La quantité prélevée est mesurée par pesée. Les échantillons sont conservés à — 15°.

Les acides aminés libres et amides du sang total sont séparés par 4 extractions successives par 8 volumes d'éthanol 84 p. 100 (v/v). Les extraits désaliés sur échangeur de cations sont dosés par chromatographie quantitative sur papier (FAUCONNEAU et al., 1964). Les résidus d'extraction alcoolique sont séchés sous vide (65°C), et pesés.

Les acides aminés des aliments sont dosés après hydrolyse acide par la méthode de MOORE, SPACKMANN et STEIN (1958), (PION, de BELSUNCE, FAUCONNEAU, 1963). Le choix de ces méthodes sera discuté plus loin.

## RÉSULTATS

Pour éviter l'interférence possible d'une dilution éventuelle au cours de la digestion (absorption de l'eau) ou au cours du prélèvement (rinçage de la canule), nous avons rapporté les teneurs en acides aminés libres du sang porte à la matière sèche du résidu d'extraction (pratiquement égale à la matière sèche du sang correspondant).

I. — *Composition du sang porte des animaux à jeun*

Nous avons rapporté pour chaque animal (tabl. 2) la somme des acides aminés dosés (en mg d'acide aminé par g de matière sèche du résidu) et les proportions en poids des divers acides aminés dans cette somme (en p. 100). Nous avons également fait figurer dans ce tableau la somme glutamine + acide glutamique, pour tenir

TABLEAU 2  
Composition en acides aminés libres des sangs à jeun

N° des porcs	4804	4821	4794	4839	22116	24099	6952	24102
Nombre d'échantillons	7	2	1	5	8	6	2	10
Somme des acides aminés et amidés dosés mg/g de M.S. du résidu	4,00 ± 0,08	4,28 ± 0,07	0,90	4,78 ± 0,04	4,93 ± 0,05	4,82 ± 0,48	4,42 ± 0,06	2,32 ± 0,08
Acide aspartique	2,0 ± 0,4	4,8 ± 0,3	2,4	2,5 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,3	4,7 ± 0,4	2,7 ± 0,4
Acide glutamique	6,8 ± 0,4	8,0 ± 0,3	10,4	8,7 ± 0,5	8,6 ± 0,5	12,0 ± 1,1	7,8 ± 0,4	9,5 ± 0,4
Sérine	5,7 ± 0,4	5,5 ± 0	5,6	4,4 ± 0,2	4,4 ± 0,1	3,0 ± 0,2	3,4 ± 0,5	3,0 ± 0,3
Glycine	21,8 ± 2,2	19,0 ± 1,9	13,2	24,8 ± 0,3	24,7 ± 0,7	20,1 ± 1,1	23,6 ± 1,9	19,3 ± 0,9
Thréonine	4,5 ± 0,5	4,1 ± 0	3,3	3,0 ± 0,6	4,3 ± 0,1	4,4 ± 0,4	4,1 ± 0,6	6,9 ± 0,6
Alanine	10,7 ± 0,6	12,3 ± 0,3	12,6	14,2 ± 0,7	14,7 ± 0,3	8,6 ± 0,8	10,2 ± 1,1	10,9 ± 0,5
Glutamine	8,4 ± 0,4	10,7 ± 1,1	11,0	7,1 ± 0,6	6,0 ± 0,5	7,5 ± 0,7	5,2 ± 0,4	6,8 ± 0,4
Valine	40,0 ± 0,4	8,3 ± 0,5	9,4	9,0 ± 0,3	8,6 ± 0,2	8,0 ± 0,3	9,1 ± 0,7	8,5 ± 0,8
Leucine, isoleucine, phénylalanine	15,8 ± 0,9	14,5 ± 1,5	19,1	17,9 ± 0,3	15,5 ± 0,6	16,6 ± 0,8	18,9 ± 0,9	16,3 ± 1,1
Tyrosine	3,3 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,1	3,4 ± 0,2	2,6 ± 0,1	2,5 ± 0,3	3,9 ± 0,6	2,4 ± 0,4
Lysine	4,4 ± 0,6	6,7 ± 0,4	5,0	5,9 ± 0,7	8,3 ± 0,2	8,6 ± 0,5	7,9 ± 0,2	7,9 ± 0,5
Ornithine	3,7 ± 0,5	2,7 ± 0	2,4	2,6 ± 0,4	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	2,2 ± 0,4	3,3 ± 0,4
Citrulline	3,5 ± 0,4	4,1 ± 0	4,0	2,8 ± 0,4	3,0 ± 0,2	3,4 ± 0,5	3,0 ± 0,4	2,4 ± 0,1
Glutamine + acide glutamique	14,9 ± 0,5	18,7 ± 0,8	21,1	15,8 ± 0,6	14,6 ± 0,6	19,6 ± 1,0	13,0 ± 0,5	16,3 ± 0,3

compte des possibilités de transformation réciproque de ces deux composés. Nous avons calculé l'écart type de la moyenne des valeurs obtenues pour chaque animal, toutes les fois que le nombre d'échantillons était suffisant. Pour les différents animaux à jeun, les proportions de la plupart des acides aminés libres sont relativement voisines, alors que la concentration en acides aminés libres totaux du sang varie du simple au double. Pour un animal donné, à jeun, l'aminocidémie est relativement constante au cours des périodes expérimentales étudiées, mais elle augmente dans des proportions importantes (200 p. 100) si l'animal cesse de prendre du poids.

Les acides aminés figurant dans le tableau 2 représentent environ 85 p. 100 du total des acides aminés ; en outre, il faut noter la présence de petites quantités d'acide aminobutyrique, de cystine ou cystéine, de méthionine, et de quantités notables d'asparagine, de proline, d'histidine et d'arginine, qui ne sont pas dosées par la méthode d'analyse utilisée.

## II. — *Évolution au cours de la digestion*

Pour chaque acide aminé, nous avons exprimé les résultats en proportion de sa teneur dans le sang à jeun. Nous avons, pour les raisons indiquées précédemment, étudié également l'évolution de la somme glutamine + acide glutamique.

Nous avons regoupé et exprimé graphiquement (figures 1 à 5) les résultats obtenus pour les repas suivants :

amidon seul (repas sans azote) . . . . .	150 à 400 g
farine de poisson et amidon (16 p. 100 de M.A.) . . . . .	300 g
farine de poisson et amidon (16 p. 100 de M.A.) . . . . .	400 g
orge (13 p. 100 de M.A.) . . . . .	300 à 500 g
tourteau d'arachide et amidon (16 p. 100 de M.A.) . . . . .	400 g

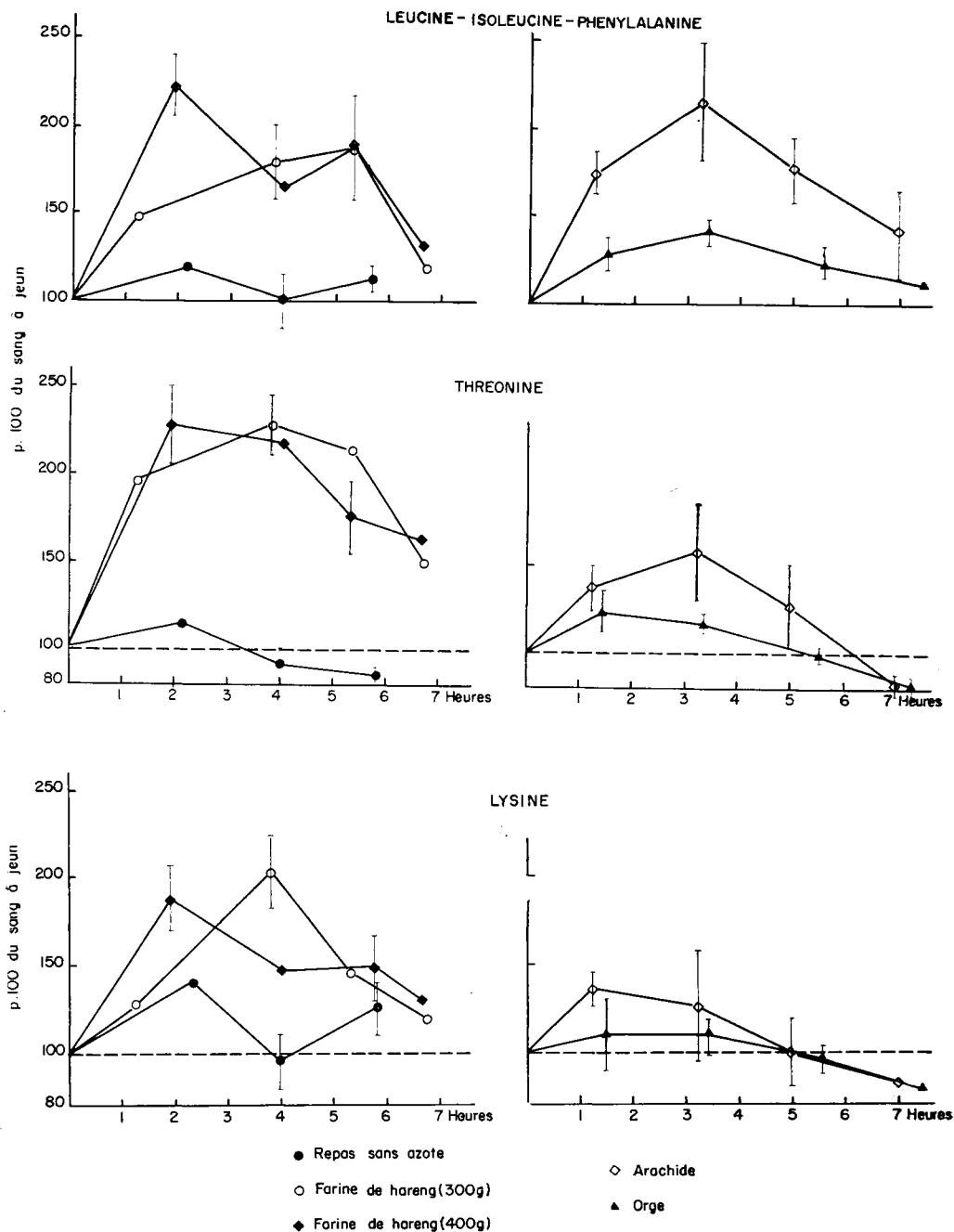
Nous allons examiner successivement les résultats obtenus après ingestion de chaque type de repas, compte tenu du fait que certains résultats ont déjà été publiés (PION *et al.*, 1963).

### *Amidon seul.*

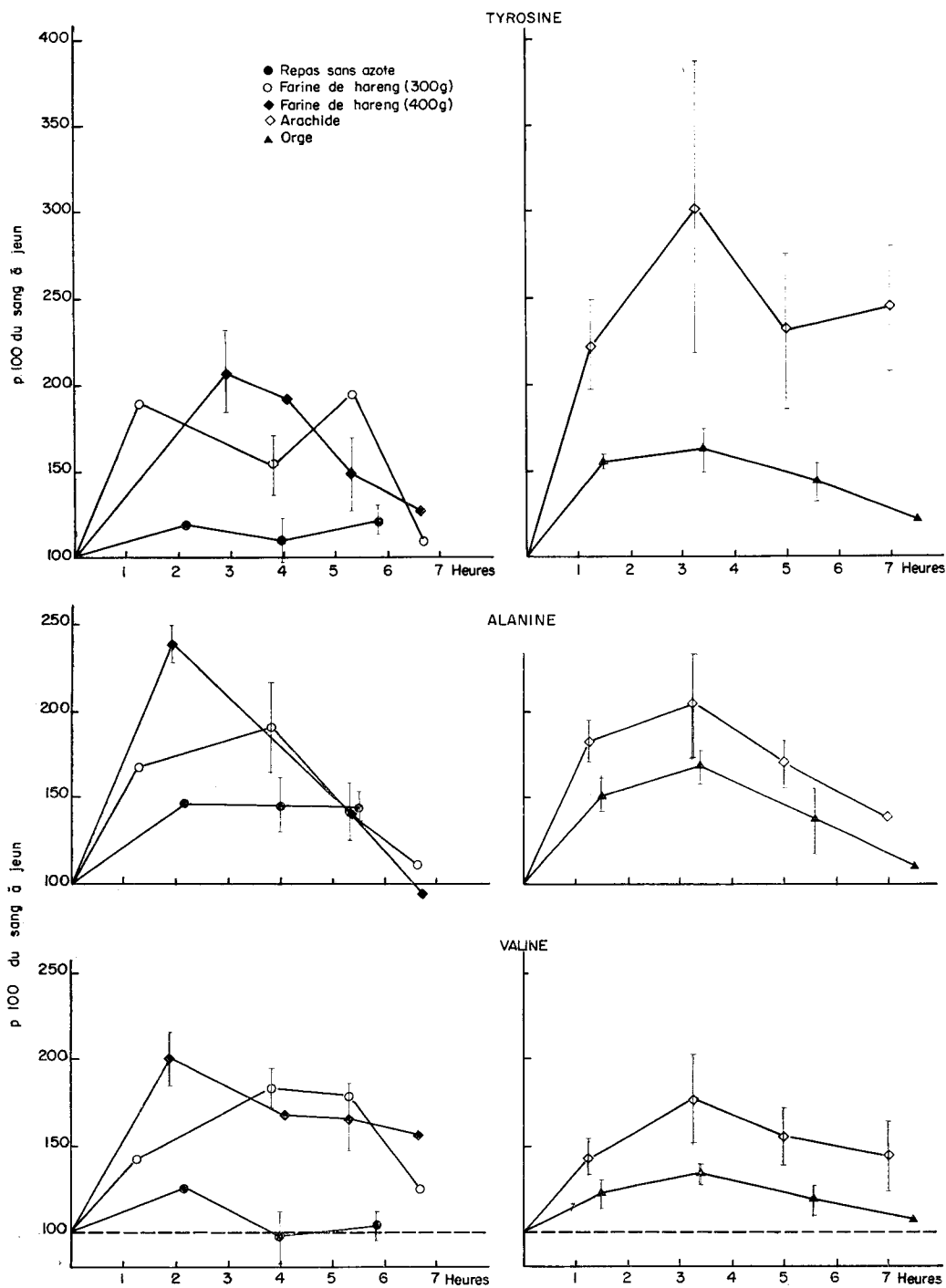
Pour la majorité des acides aminés non indispensables, leurs concentrations dans le sang porte augmentent pendant un temps plus ou moins long ; la teneur en alanine se maintient à près de 150 p. 100 de celle du sang à jeun pendant la période étudiée (de 0 à 6 heures après le repas). Les autres acides aminés non indispensables augmentent dans des proportions plus faibles. Les variations des teneurs des acides aminés indispensables étudiées sont généralement faibles ou nulles, exception faite de la lysine dont la teneur augmente assez fortement peu après le repas, pour retomber ensuite à une valeur proche de celle observée dans le sang à jeun.

### *Amidon et farine de poisson.*

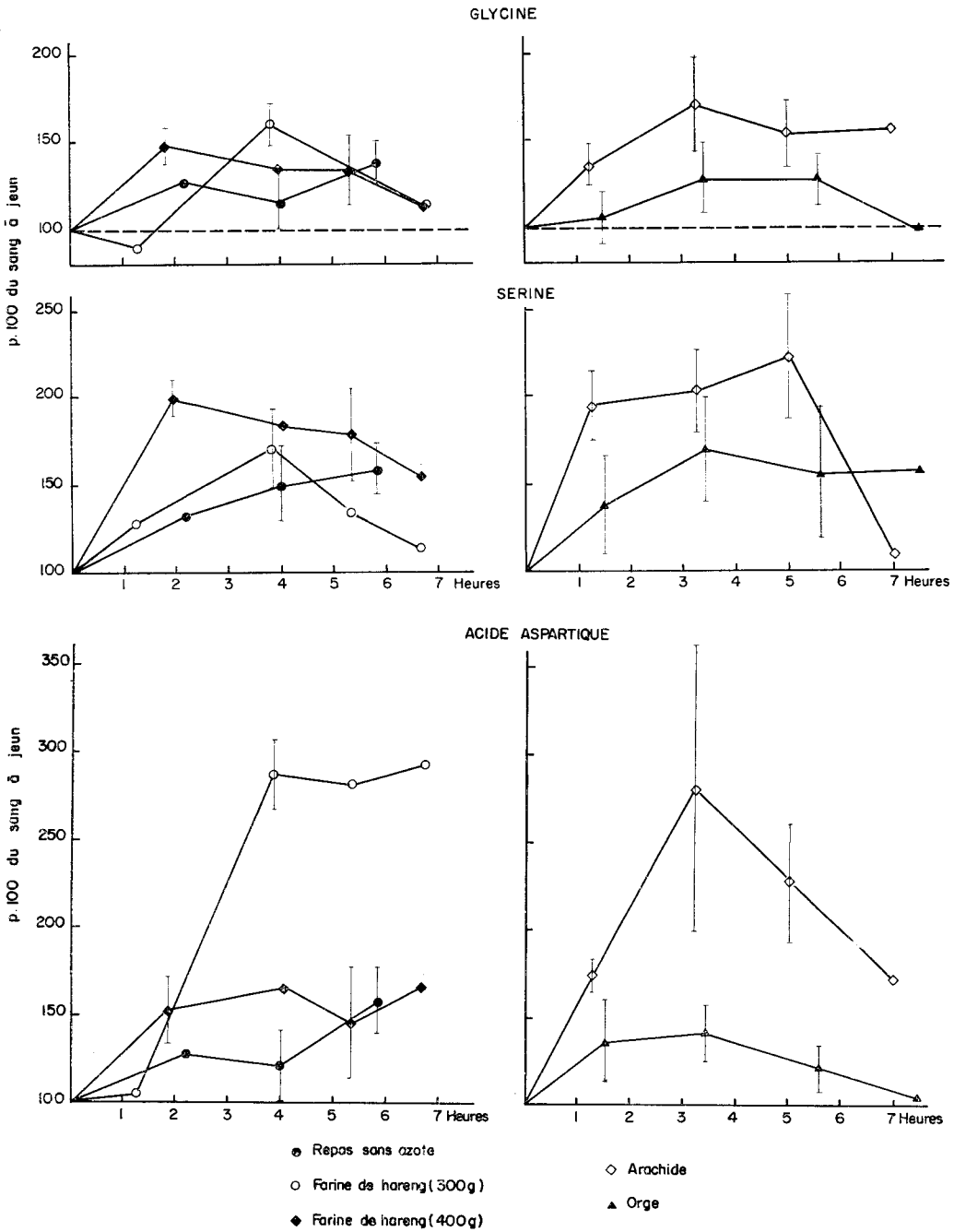
Les courbes obtenues pour les deux quantités ingérées (différant de 25 p. 100) sont extrêmement voisines (dans leurs parties ascendantes et descendantes), au



GRAPHIQUE 1. — Variation de la teneur en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion (exprimée en % de la teneur dans le sang à jeun).

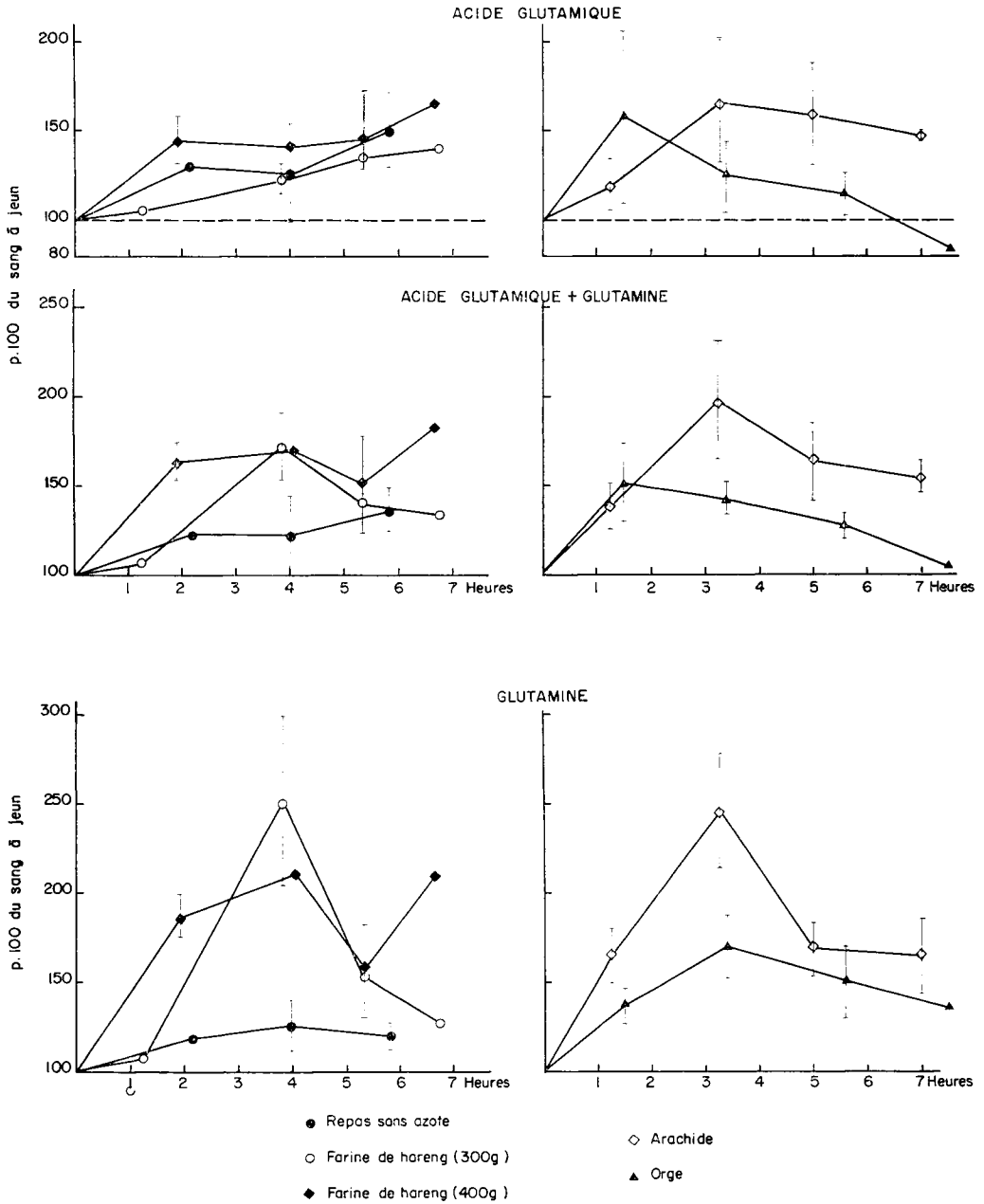


GRAPH 2. — Variation de la teneur en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion (exprimée en % de la teneur dans le sang à jeun).

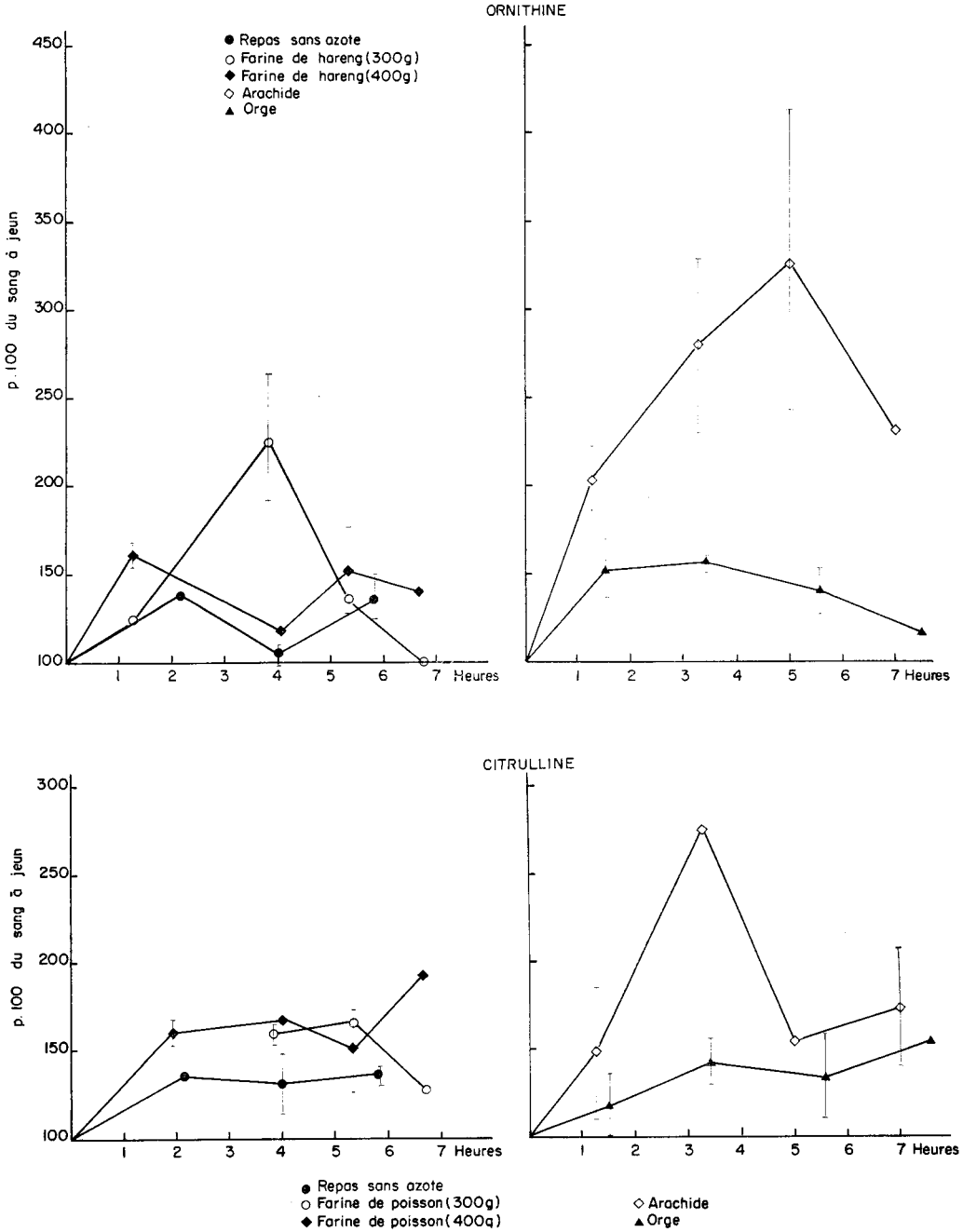


GRAPHIQUE 3. — Variation de la teneur en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion (exprimée en % de la teneur dans le sang à jeun).





GRAPHIQUE 4. — Variation de la teneur en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion (exprimée en % de la teneur dans le sang à jeun).



GRAPHIQUE. 5. — Variation de la teneur en acides aminés libres du sang porte au cours de la digestion (exprimée en % de la teneur dans le sang à jeun)

moins dans le cas des acides aminés indispensables et semi-indispensables. Les augmentations de tous les acides aminés indispensables et de quelques autres, sont très importantes (+ 200 p. 100), comparées à celles observées après ingestion des repas sans azote (+ 20 p. 100).

#### *Orge.*

Les augmentations observées pour les divers acides aminés indispensables (+ 20 à + 30 p. 100) sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la farine de poisson, et les courbes obtenues sont généralement très voisines de celles observées après ingestion du repas sans azote. Seule la tyrosine semble augmenter de façon notable. Les augmentations obtenues sont particulièrement faibles dans le cas de la lysine (+ 15 p. 100) et de la thréonine (+ 25 p. 100), acides aminés présents en très petites quantités dans l'orge. Les teneurs sont même au bout d'un certain temps inférieures à celles du sang à jeun (— 20 p. 100).

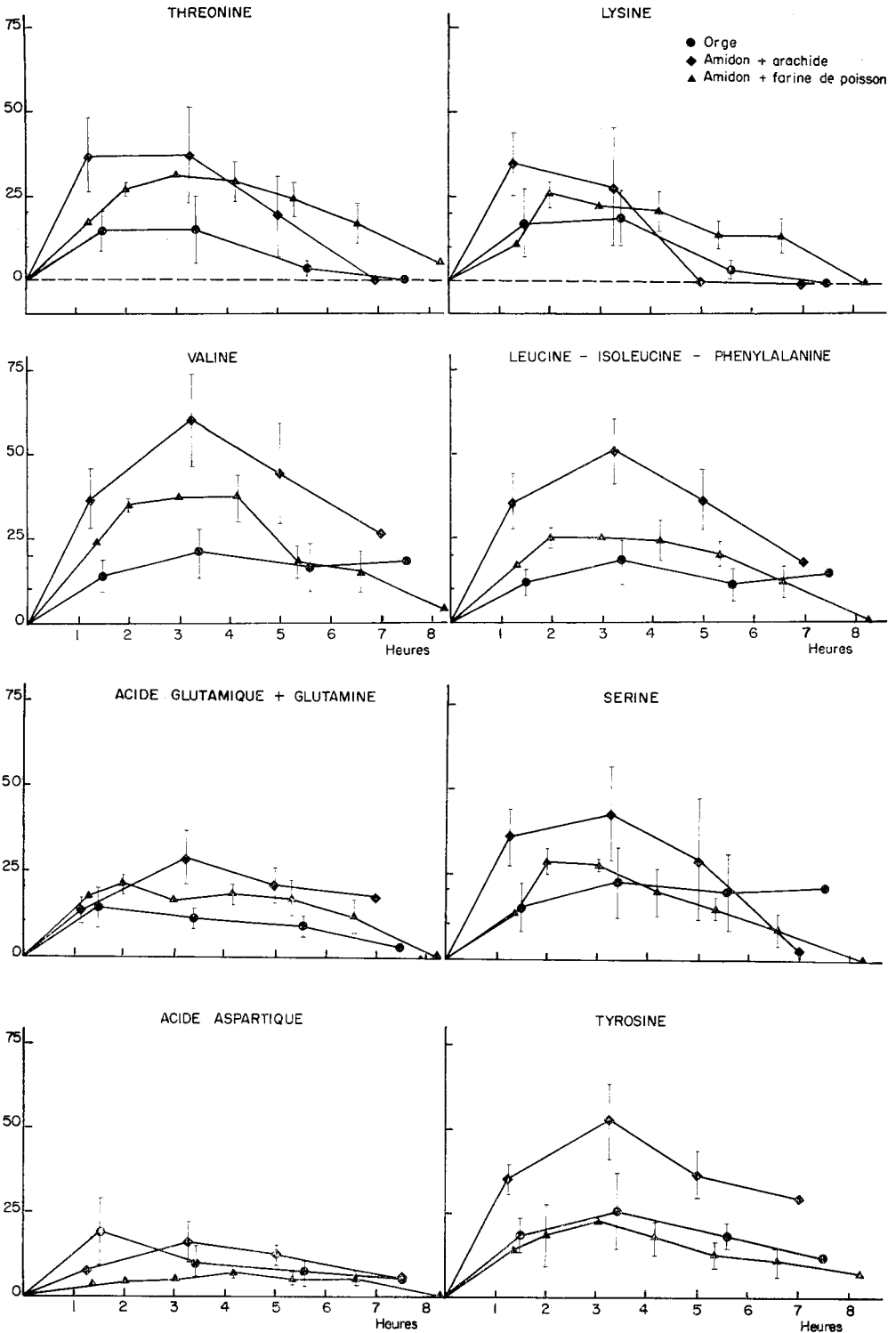
#### *Arachide.*

Les valeurs observées peu après le repas sont très élevées pour tous les acides aminés, et le restent pendant la période étudiée (0 à 7 heures), sauf en ce qui concerne la lysine et la thréonine dont les teneurs diminuent rapidement. La teneur en thréonine en particulier est nettement inférieure à celle du sang à jeun, 7 heures après le repas. L'augmentation de la teneur en ornithine est particulièrement importante.

### III. — *Relation avec l'apport alimentaire*

Pour chaque point expérimental, l'augmentation par rapport au sang à jeun (teneur observée au point considéré moins teneur dans le sang à jeun) a été divisée par la quantité de l'acide aminé ingéré au cours du repas. Par convention, la valeur zéro a été attribuée au résultat, toutes les fois que la teneur au point considéré était inférieure à celle du sang à jeun. Ce mode d'expression (fig. 6 et 7) met en évidence une augmentation très importante des teneurs en glycine et surtout en alanine sans relation avec l'apport alimentaire, particulièrement dans le cas de l'arachide et dans celui de l'orge, tandis que les augmentations obtenues pour l'acide aspartique et la somme glutamine + acide glutamique sont très faibles. Les courbes observées pour la somme leucine + isoleucine + phénylalanine et pour la valine sont d'ailleurs très voisines, s'élevant fortement dans le cas de l'arachide, moyennement dans le cas de la farine de poisson, faiblement dans le cas de l'orge. Pour la lysine et la thréonine, les augmentations sont notables et forment une courbe assez régulière dans le cas de la farine de poisson, tandis qu'elles sont très faibles, sauf peu de temps après le repas, dans le cas de l'orge. Ces deux acides aminés augmentent notablement peu de temps après ingestion d'un repas d'arachide, pour diminuer ensuite fortement, surtout en ce qui concerne la lysine.

Les modifications de composition du sang de la veine porte ont été également reliées aux apports alimentaires selon une autre méthode de comparaison, afin de trouver un mode d'expression applicable aux augmentations observées à des laps de temps différents, après ingestion de repas composés d'un aliment protéique donné et d'amidon (en proportion variable). Pour chaque point expérimental, la part relative



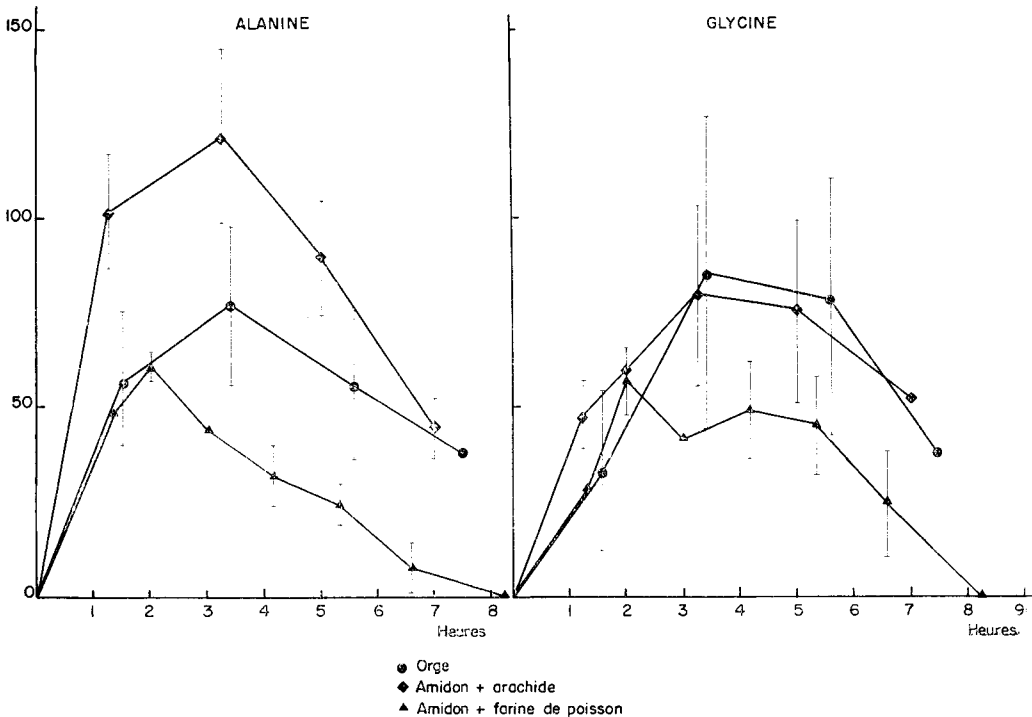
GRAPHIQUE 6. — Augmentation de la teneur du sang porte en acides aminés indispensables et semi-indispensables rapportée à l'ingéré (exprimée en  $\mu\text{g/g}$  de matière sèche du résidu/ingéré).

TABLEAU 3  
Composition centésimale des accroissements de l'aminocidémie porte comparée à celle des aliments ingérés

Aliments	Augmentation des teneurs du sang porte par rapport au sang à jeun (en p. 100 de leur somme)			Composition des aliments (en p. 100 de leur somme)		
	Farine de hareng		Orge	Farine de hareng	Arachide	Orge
	avec amidon	sans amidon				
Acide aspartique .....	2,7 ± 0,3	1,8 ± 0,2	3,3 ± 0,5	11,7	14,9	7,1
Sérine .....	4,5 ± 0,3	5,1 ± 0,7	6,1 ± 1,0	5,1	6,6	5,7
Glycine .....	14,0 ± 2,9	13,6 ± 2,1	21,3 ± 2,0	6,8	8,1	5,3
Lysine .....	8,5 ± 0,5	10,4 ± 2,2	3,1 ± 0,9	9,8	4,6	4,9
Thréonine .....	6,9 ± 0,3	10,2 ± 1,5	2,2 ± 0,6	6,2	3,5	4,5
Alanine .....	13,6 ± 1,1	6,7 ± 2,1	18,1 ± 0,7	8,5	5,2	5,3
Glutamine + acide glutamique	15,2 ± 1,3	11,2 ± 1,3	19,6 ± 3,2	16,4	25,2	33,6
Valine .....	10,6 ± 0,4	13,3 ± 1,1	6,4 ± 0,8	8,0	5,9	7,0
Leucine, isoleucine, phénylalanine .....	20,8 ± 0,8	22,6 ± 1,9	15,5 ± 1,8	22,6	20,1	21,9
Tyrosine .....	3,2 ± 0,4	4,9 ± 0,5	4,3 ± 0,7	4,7	5,9	4,6
Nombre de points	26	8	9			
		15				

de chaque acide aminé (en p. 100) dans l'augmentation totale de l'aminocidémie porte observée a été calculée ; les moyennes des valeurs ainsi obtenues (et leurs écarts-types) ont été rassemblées dans le tableau 3 ainsi que la composition des divers aliments protéiques utilisés, exprimés de la même manière.

Il y a un parallélisme très net entre la composition de l'azote aminé supplémentaire trouvé à l'état libre dans le sang porte après ingestion de chaque aliment et la composition de cet aliment dans le cas de la plupart des acides aminés indispensables et semi-indispensables.



GRAPHIQUE. 7. — Augmentation de la teneur du sang porte en acides aminés indispensables et semi-indispensables rapportée à l'ingéré (exprimé en  $\mu\text{g/g}$  de matière sèche du résidu ingéré).

Toutefois, les teneurs du sang porte en leucine, isoleucine, phénylalanine, comparées à la composition de l'aliment, sont faibles dans le cas de l'ingestion d'orge, tandis que les déficits en thréonine et en lysine de l'orge et de l'arachide semblent légèrement exagérés dans le sang porte correspondant.

Les valeurs obtenues pour l'acide aspartique sont extrêmement faibles comparées aux teneurs des différents aliments, tandis que les différences de teneur en acide glutamique + glutamine des trois aliments étudiés ne semblent pas se refléter dans la composition du sang porte.

Les valeurs obtenues pour la glycine et l'alanine du sang porte sont extrêmement élevées, et sans rapport avec leurs teneurs dans les différents aliments, sauf dans un cas : celui de l'alanine, après ingestion de repas constitués de farine de poisson seule. Outre cette forte diminution relative de l'alanine, l'absence d'amidon dans la ration

semble entraîner une faible diminution des valeurs obtenues pour les diacides et leurs amides, et l'augmentation passive du pourcentage des acides aminés indispensables et semi-indispensables. Le pourcentage d'augmentation est le même dans le cas de la glycine, que la ration comporte ou non de l'amidon, alors que la ration la plus faible en protéines (orge) semble entraîner une augmentation de celle-ci.

## DISCUSSION

Les dosages des acides aminés et amides ont été effectués sur l'azote non protéique du sang total et non sur celui du plasma pour plusieurs raisons : cette méthode permet de fixer les échantillons par l'éthanol froid immédiatement après le prélèvement, et d'éviter les échanges qui risquent de se produire entre plasma et globules au cours de leur séparation par centrifugation. Il est d'ailleurs vraisemblable que des échanges entre plasma et cellules sanguines se produisent déjà chez l'animal, et que les acides aminés libres provenant de la digestion sont transportés par ces deux fractions, comme l'ont montré DAWSON et PORTER (1962) chez le rat ; ils ont en effet constaté que la teneur en acides aminés libres marqués au  $^{14}\text{C}$  variait parallèlement dans le plasma et dans les cellules sanguines de rats ayant absorbé un repas de chlorelles marquées au  $^{14}\text{C}$ .

Nous avons dû utiliser pour le dosage des acides aminés libres du sang porte, une méthode chromatographique sur papier. L'utilisation de la méthode chromatographique sur échangeur d'ions de MOORE, SPACKMANN et STEIN (1958), (avec collecteur de fraction), adaptée aux liquides biologiques, exige le fractionnement à 30° puis à 50°C sur une colonne de 150 cm pour les acides aminés acides et neutres, à 30° puis 50°C sur une colonne de 50 cm pour les acides aminés basiques. Cette méthode trop longue (un échantillon par semaine) pour permettre de doser un assez grand nombre d'échantillons nécessite de plus des prises de sang plus importantes. La précision de la méthode que nous avons utilisée est évidemment plus faible, mais les variations observées sont très importantes et n'ont aucune commune mesure avec les erreurs expérimentales. La comparaison, sur quelques échantillons, des résultats obtenus par chromatographie sur papier et par chromatographie sur colonne montre un bon accord entre les deux méthodes pour tous les composés figurant dans les tableaux de résultats, à condition que les concentrations de chaque composé, présentes sur le papier se trouvent entre certaines limites (FAUCONNEAU *et al.*, 1964). Le principal inconvénient de cette méthode est de ne pas doser un certain nombre d'acides aminés indispensables ou semi-indispensables : histidine, arginine, acides aminés soufrés.

En outre, la leucine, l'isoleucine, la phénylalanine ne sont généralement pas séparées, et il est impossible de déterminer les variations de concentration de chacun de ces composés, dont les teneurs n'évoluent pas forcément d'une manière parallèle. De plus, comme le facteur de coloration de la phénylalanine est beaucoup plus faible que ceux des autres composés, le facteur moyen utilisé risque d'être entaché d'erreurs, si les proportions de ces trois composés dans la somme varient beaucoup.

Les protéines de la ration de base utilisée étaient des protéines de poisson, ce qui peut avoir deux conséquences :

1° La composition du sang à jeun est probablement liée à ce régime. Différents auteurs ont en effet montré chez diverses espèces animales que la composition en acides aminés du plasma était liée au régime alimentaire. C'est en particulier, la conclusion de PUCHAI, *et al.* (1962) qui ont étudié la composition en acides aminés libres du plasma de porcs soumis à différents régimes. Toutefois, il est difficile de comparer les résultats obtenus par ces auteurs et les nôtres, car leurs dosages ont été effectués sur le plasma d'animaux qui n'étaient pas soumis à un jeûne préalable, l'heure du prélèvement et l'heure du repas n'étant pas précisées.

2° Il est possible que des animaux accoutumés à un régime à base de farine de poisson ne digèrent pas (<sup>1</sup>) les autres aliments (orge, arachide) à la même vitesse que des animaux habitués à consommer de l'orge ou de l'arachide. Toutefois, si l'orge semble être digérée très lentement, il n'en est pas de même de l'arachide, digérée au moins aussi vite que la farine de poisson.

Nous avons dû utiliser plusieurs modes d'expression pour étudier l'évolution de l'aminocidémie porte au cours de la digestion, car aucun d'eux ne rend entièrement compte des phénomènes observés. En particulier, chacun de ces modes d'expression accorde une place prépondérante soit à la teneur de l'acide aminé considéré dans le sang à jeun, soit à sa teneur dans l'aliment ; dans le premier cas, l'augmentation observée sera artificiellement élevée si la teneur dans le sang à jeun de l'acide aminé considéré est faible. Dans le deuxième, l'importance relative de l'augmentation observée par rapport à la teneur normale du sang à jeun n'est pas mise en évidence. Quoiqu'il en soit, l'examen simultané des résultats exprimés de plusieurs manières permet de mettre en lumière un certain nombre de faits :

— Le maximum de concentration de la plupart des acides aminés dans le sang porte apparaît entre 2 heures et 3 heures après l'ingestion d'un repas expérimental constitué d'amidon associé à de l'arachide ou de la farine de hareng ; mais les points expérimentaux ont rarement permis de mesurer l'importance du maximum.

— La consommation de quantités différentes (300 ou 400 g) de l'aliment composé d'amidon et de farine de poisson (16 p. 100 de M.A.) entraîne des variations similaires de l'aminocidémie porte. Cela laisse supposer que les quantités qui quittent rapidement l'estomac pour l'intestin sont voisines dans les deux cas. Ces faits sont en accord avec les observations de GUPTA *et al.* (1958) sur le rat et de RÉRAT et LOUGNON (1963) chez le porc.

— La part des acides aminés indispensables d'origine digestive endogène qui atteignent la veine porte semble faible, même près de 6 heures après le repas.

— Les protéines de l'orge semblent être digérées plus lentement que celles du poisson ou de l'arachide. En effet, les petites augmentations de l'aminocidémie, observées dans le cas de l'orge, ne peuvent pas s'expliquer par le fait que le taux protéique était plus faible, car la différence observée aurait disparu lorsque l'on divise les variations de concentrations dans le sang porte par les quantités ingérées.

— La métabolisation dans la paroi intestinale est mise en évidence par certains résultats : les quantités d'acide aspartique, de glutamine et d'acide glutamique qui apparaissent dans le sang porte sont très faibles en comparaison de celles qui sont apportées par l'aliment, tandis que les teneurs en glycine et en alanine augmentent

(<sup>1</sup>) Nous entendons par digestion, l'ensemble des phénomènes physiologiques qui conduisent de l'ingestion à l'apparition des acides aminés dans le sang porte.



fortement en comparaison de l'apport alimentaire en ces deux acides aminés. Ces faits sont en accord avec les observations faites *in vitro* chez le chien, le chat et le lapin par NEAME et WISEMAN (1957-1958). Ces auteurs ont mis en évidence des transaminations dans la paroi intestinale. Les quantités d'acide aspartique et d'acide glutamique mis en présence de la muqueuse intestinale n'étaient pas recouvertes entièrement de l'autre côté de la paroi intestinale, tandis qu'il apparaissait de l'alanine. PERAINO et HARPER (1962) ont également constaté chez le rat que l'ingestion de glutamine ou d'acide glutamique entraînait une augmentation des teneurs du sang porte non seulement en acide glutamique et en glutamine, mais aussi en alanine. De même, la forte augmentation de la concentration en ornithine du sang porte, observée après ingestion de tourteau d'arachide peut être due à la teneur élevée de cet aliment en arginine (FINCH et HIRD, 1960). L'alanine n'augmente que beaucoup plus faiblement après ingestion de farine de poisson seule. Il est possible que certains produits de dégradation de l'amidon soient nécessaires à la formation de l'alanine dans la paroi du tube digestif.

— L'allure des courbes obtenues pour les différents acides aminés indispensables met bien en évidence les facteurs limitants des aliments protéiques utilisés : dans le cas de la farine de poisson, dont le seul facteur limitant est constitué par les acides aminés soufrés, les teneurs du sang porte augmentent nettement et pendant un temps assez long pour les divers acides aminés indispensables dosés. Après ingestion d'arachide, très pauvre en lysine et en thréonine, les phénomènes sont différents. Les teneurs augmentent nettement pour les différents acides aminés indispensables, peu de temps après le repas. Mais les concentrations en lysine et en thréonine diminuent rapidement et peuvent même atteindre des valeurs inférieures à celles observées dans le sang à jeun. Cela est probablement dû au fait que la teneur du sang porte à un moment donné peut être considérée comme la somme de ce qui était présent dans le sang artériel et de ce qui provient du tube digestif. La présence dans le sang des autres acides aminés doit entraîner l'utilisation par les tissus d'une quantité importante des acides aminés les plus limitants et le sang qui vient irriguer l'intestin est appauvri en ces éléments. L'apport alimentaire peut très bien dans ce cas n'être pas suffisant pour ramener la teneur de l'acide aminé considéré à la valeur qu'elle avait dans le sang à jeun.

Ces faits sont en accord avec les observations faites par divers auteurs sur la composition en acides aminés libres du sang périphérique en fonction du régime (LONGENECKER et HAUSE, 1959, HILL et OLSEN, 1963). Ces résultats sont en contradiction avec les conclusions de NASSET et *al.*, 1963 : l'homéostasie serait réalisée au niveau du contenu intestinal grâce au mélange des protéines d'origine endogène et exogène, ce qui permettrait l'absorption d'un mélange de composition relativement indépendant des protéines ingérées. Ces auteurs n'ont pas trouvé de modification des concentrations en lysine et en tryptophane du sang porte de chiens ayant reçu un repas de zéine deux heures auparavant ; il faut signaler que les concentrations de quelques acides aminés indispensables (leucine en particulier) ont augmenté ; par ailleurs, NASSET et *al.*, n'ont pas effectué de cinétique après le repas.

Dans les conditions expérimentales utilisées, l'orge semble être digérée beaucoup plus lentement que le poisson et l'arachide, sans que l'on puisse savoir si cette différence est liée au transit digestif ou à d'autres facteurs. Les carences en un ou plusieurs acides aminés indispensables entraînent une augmentation très forte des

teneurs des autres acides aminés (cas de l'arachide), qui ne peuvent être utilisés au fur et à mesure de leur arrivée dans le sang ; une ration constituée de protéines mieux équilibrées (farine de hareng) entraîne des élévations de teneurs généralement plus faibles, même si sa digestion est rapide.

### CONCLUSION

Les résultats obtenus permettent de préciser certaines étapes de l'utilisation de protéines alimentaires étudiées :

— les différents acides aminés dans le sang porte augmentent en proportion variable avec le régime ; ces augmentations ne reflètent pas l'homéostasie relative des divers acides aminés libres trouvés par NASSET et *al.*, 1955, dans les contenus intestinaux de chiens recevant des protéines de qualités variables ;

— la part des acides aminés indispensables d'origine endogène semble être faible, à l'exception peut-être de la lysine dans les premières phases de la digestion ;

— les métabolisations dans la paroi ne semblent jouer un rôle important que pour quelques acides aminés non indispensables, et pour l'arginine (semi-indispensable) ;

— il existe un parallélisme étroit entre la composition des protéines ingérées en acides aminés indispensables et la composition de l'azote aminé supplémentaire trouvé à l'état libre dans le sang porte après ingestion de cet aliment.

La composition du sang porte à un instant donné dépend donc essentiellement de la composition des protéines alimentaires, des vitesses de libération et d'absorption de leurs acides aminés constitutifs et de leur utilisation par l'organisme. La méthode basée sur l'analyse du sang efférent de l'intestin est donc bien adaptée à l'étude globale de la digestion des protéines et en particulier, elle peut permettre de préciser :

— le rôle exact de la digestion dans la diminution de la valeur nutritive des protéines ayant subi des traitements industriels ;

— l'utilisation des acides aminés libres associés à diverses protéines pour assurer leur supplémentation.

*Reçu pour publication en septembre 1964.*

### REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé en partie grâce au contrat de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique n° 61 FR 164.

### SUMMARY

#### VARIATIONS IN THE AMINO-ACID COMPOSITION OF THE PORTAL BLOOD DURING DIGESTION IN THE PIG

Eight young pigs of 25 kg bearing permanent fistulas in the portal vein received a balanced diet containing starch and herring meal. Various experimental meals (300 to 400 g) of the following compositions were given in the morning :

starch mixed with various proteins : groundnut — herring meal ;  
barley ;  
starch.

Samples of portal blood (10 ml) were taken during a period of 8 hours after ingestion of the meal.

The free amino-acids and amines of the whole blood were extracted with 84 p. 100 ethanol and then estimated after separation by two-dimensional paper chromatography.

In fasting animals (cf. table 11) there was less variation between individuals in the proportions of the different amino-acids than in the total amino-acid content; for a given animal, the total amino-acid content is stable and increases only on cessation of growth.

After ingestion of nitrogenous meals, the total amino-acid content rises markedly; the concentrations in the portal blood (compared with the blood of the fasting animal) of various amino-acids show considerable increases (up to 200 p. 100), reaching a maximum after 2 to 3 hours, after which they decrease progressively; the level of the blood of fasting animals is reached only after 8 hours. The relative curves for the different indispensable amino-acids are characteristic of the different proteins ingested (fig. 1-5).

After ingestion of protein-free meals the concentrations of the indispensable amino-acids show only very slight increases.

For each of the amino-acids analysed the increases were related to the amounts ingested (fig. 6 and 7). Glycine and alanine concentrations increased much more than could be expected from the inputs: on the contrary, aspartic-acid and glutamine + glutamic-acid concentrations increased very little.

At all experimental points, whatever the time that had elapsed after each meal, the relative part of each amino-acid in the total increase of aminoacidemia was calculated (table 3), and compared to the composition of the ingested proteins. Modifications in the concentrations of each amino-acid in the portal blood were more often than not parallel to the corresponding content in the ingested proteins.

The results are discussed in relation to the imperfections of the method of estimation (leucine, isoleucine and phenylalanine not separated):

- the amount of indispensable amino-acids of endogenous origin is low (protein-free diet);
- metabolism in the wall is important for some dispensable or semi-indispensable amino-acids: large amounts of glutamic-acid and of glutamine in barley cause increases in alanine and glycine. Arginine, present in large quantities in groundnut, causes large increases in ornithine;
- the kinetics of the increase of the various indispensable amino-acids reveals the limiting factors for each protein.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARSAC M., RÉRAT A., 1962. Technique de fistulation de la veine porte chez le Porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **2**, 335-343.
- BARRY R. J. C. in KON S. K. and COWIE A. T. Milk: *The mammary gland, its secretion*, 1961 Vol. I. Acad. Press. Inc. New York. London.
- DAWSON R., HOLDSWORTH E. S., 1962. An investigation into protein digestion with <sup>14</sup>C labelled protein. I. The general pattern of <sup>14</sup>C incorporation in body tissues and fluids of the rat up to 3 h. after feeding. *Brit. J. Nutr.*, **16**, 13-25.
- DAWSON R., PORTER J. W. G., 1962. An investigation into protein digestion with <sup>14</sup>C labelled protein. II. The transport of <sup>14</sup>C labelled nitrogenous compounds in the rat and cat. *Brit. J. Nutr.*, **16**, 27-38.
- DENT C. E., SCHILLING J. A., 1949. Studies on the absorption of proteins: the amino acid pattern in the portal blood. *Biochem. J.*, **44**, 318-333.
- DENTON A. E., ELVEHJEM C. A., 1954. Availability of amino acids *in vivo*. *J. Biol. Chem.*, **206**, 449-454.
- FAUCONNEAU G., PION R. L'analyse des acides aminés libres et amides des tissus animaux et végétaux par chromatographie quantitative sur papier. A paraître dans les *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*
- FINCH L. R., HRD F. J. R., 1960. The uptake of aminoacids by isolated segments of rat intestine. I. A survey of factors affecting the measurement of uptake. *Biochim. Biophys. Acta.*, **43**, 268-277.
- GOLDBERG A., GUGGENHEIM K., 1962. The digestive release of aminoacids and their concentrations in the portal plasma of rats after protein feeding. *Biochem. J.*, **83**, 129-135.
- GUGGENHEIM K., HALEVY S., FRIEDMANN N., 1960. Levels of lysine and methionine in portal blood of rats following protein feeding. *Arch. Biochem Biophys.*, **91**, 6-10.
- GUPTA J. P., DAKROURY A. M., HARPER A. E., 1958. Observations on protein digestion *in vivo*. I. Rate of disappearance of ingested protein from the gastrointestinal tract. *J. Nutrition*, **69**, 447-456.
- HILL D. C., OLSEN E. M., 1963. Effects of starvation and a non protein diet on blood plasma aminoacids, and observations on the detection of aminoacids limiting growth of chicks purified diets. *J. Nutrition*, **79**, 303-310.

- LONGENECKER J. B., HAUSE N. L., 1959. Relationship between plasma aminoacids and composition of the ingested protein. *Arch. Biochem. Biophys.*, **84**, 46-59.
- MATTHEWS D. M., WISEMAN G., 1953. Transamination by the small intestine of the rat. *J. Physiol.*, **120**, 55-68.
- MOORE S., SPACKMANN D. H., STEIN W. H., 1958. Chromatography of aminoacids on sulfonated polystyrene resins. An improved system. *Analyt. Chem.*, **30**, 1185-1190.
- NASSET E. S., SCHWARTZ P., WEISS H. V., 1955. The digestion of proteins *in vivo*. *J. Nutrition*, **56**, 83-94.
- NASSET E. S., GANAPATHY S. N., GOLDSMITH D. P. S., 1963. Aminoacids in dog blood and gut contents after feeding zein. *J. Nutrition*, **81**, 343-347.
- NEAME K. D., WISEMAN G., 1957. The transamination of glutamic and aspartic acids during absorption by the small intestine of the dog *in vivo*. *J. Physiol.*, **135**, 442-450.
- PERAINO C., HARPER A. E., 1963. Observations on protein digestion *in vivo* : V. Free aminoacids in blood plasma of rats force fed zein, casein, or their respective hydrolysates. *J. Nutrition*, **80**, 270-278.
- PION R., de BELSUNCE C., FAUCONNEAU G., 1963. Composition en acides aminés de quelques aliments. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, hors série, 11-18.
- PION R., FAUCONNEAU G., RÉRAT A., 1963. Étude cinétique de la composition en acides aminés du sang porte chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, hors série, 31-37.
- PUCHIAL F., HAYS V. W., SPEER V. C., JONES J. D., CATRON D. V., 1962. The free blood plasma aminoacids of swine as related to the source of dietary proteins. *J. Nutrition*, **76**, 11-16.
- RÉRAT A., LOUGNON J., 1963. Études sur le transit digestif chez le porc. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **3**, hors série, 21-29.
- WHEELER P., MORGAN A. F., 1958. The absorption by immature and adult rats of amino acids from raw and autoclaved fresh pork. *J. Nutrition*, **64**, 137-150.