

Le besoin en protéines

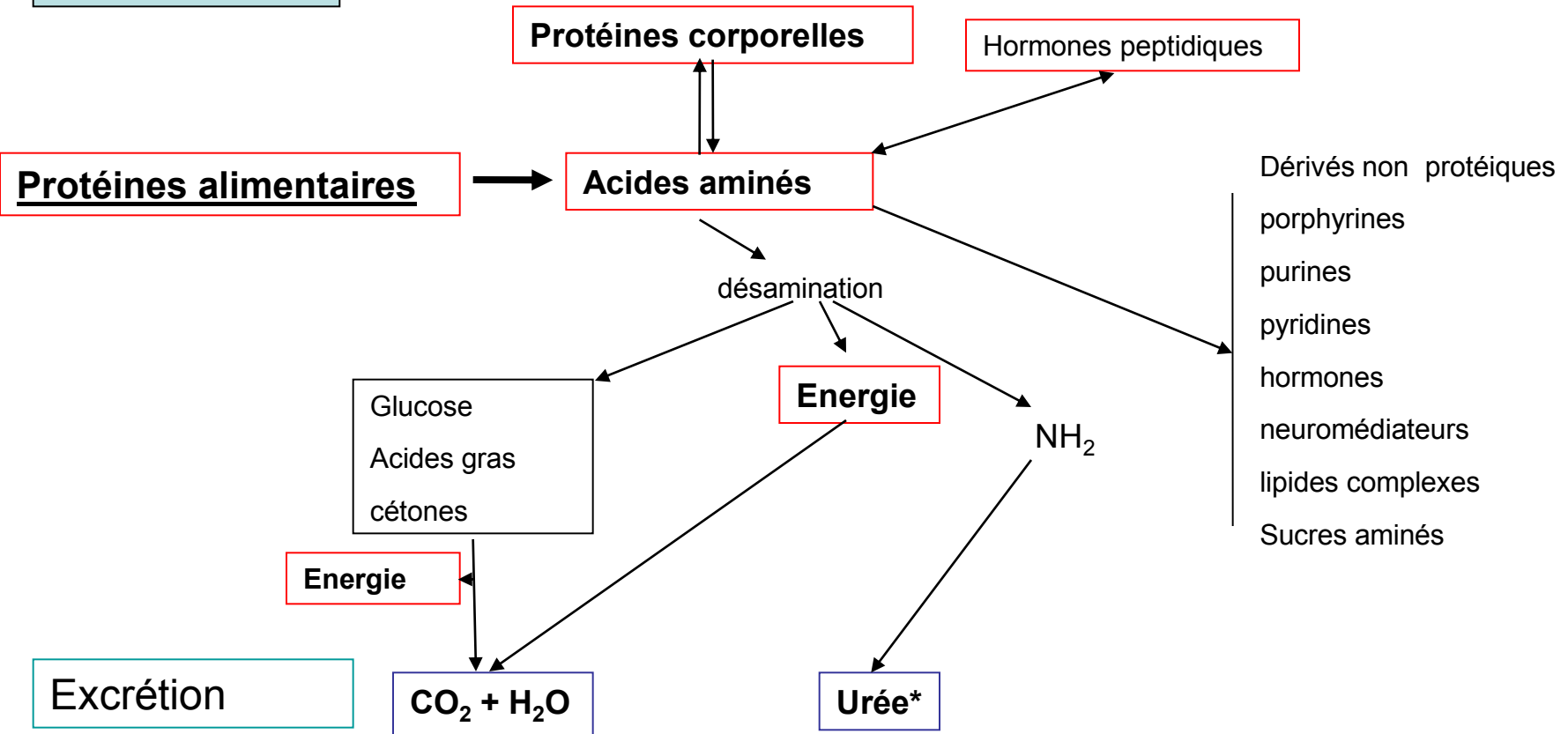
L'organisme contient environ 18 p. cent de protéines.

Les protéines alimentaires doivent apporter tous les acides aminés et plus particulièrement ceux que l'organisme ne synthétise pas à ou à une vitesse trop lente.

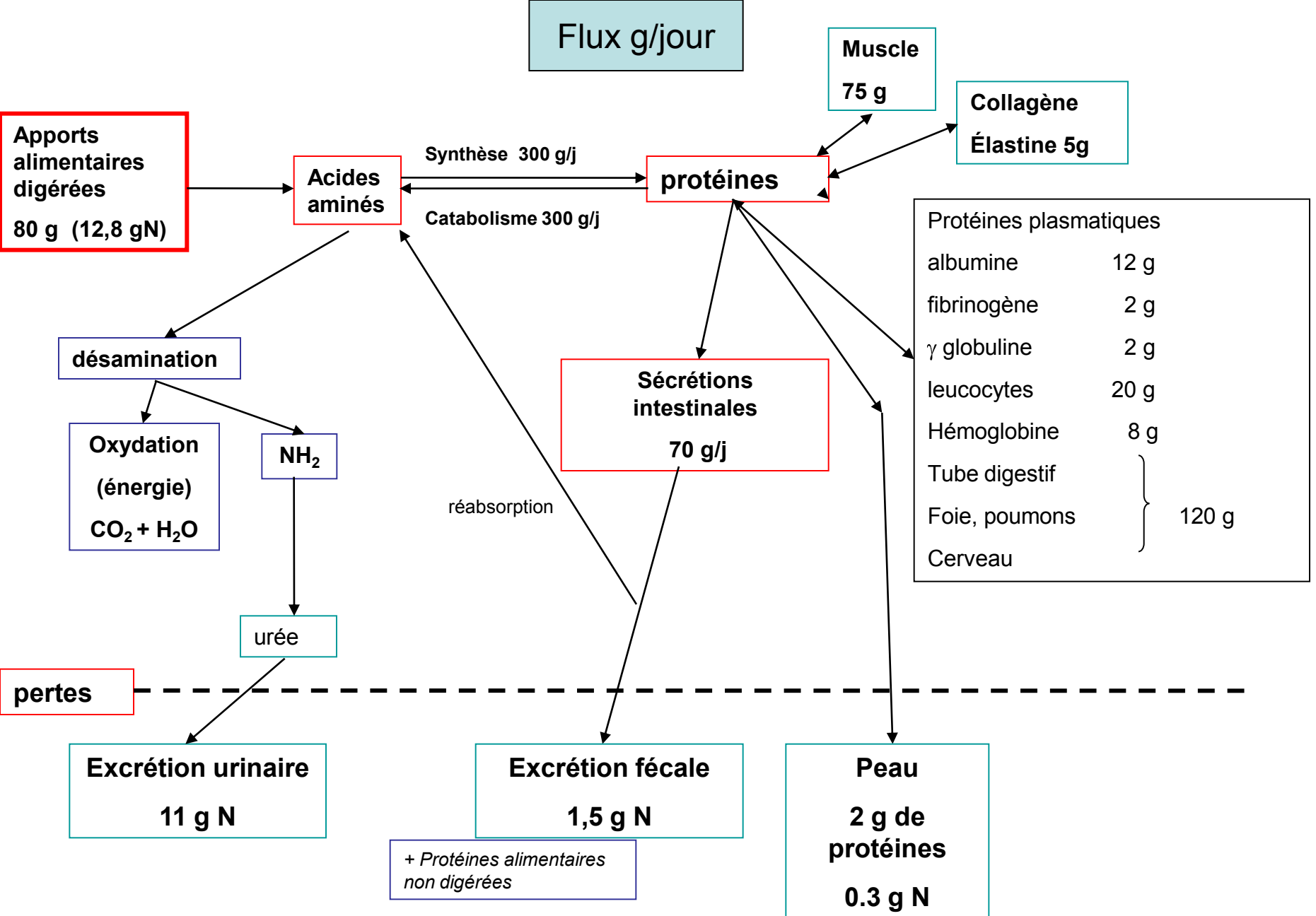
Les protéines sont aussi la source de l'azote qui sert à synthétiser d'autres composés que des protéines.

Les protéines alimentaires fournissent 10 à 15 p. cent de l'énergie de la ration.

Rôles



*Des traces de protéines et des acides aminés sont aussi présents dans les urines



NB. Protéines alimentaires = 80 g de protéines effectivement digérées
 N excrété = 11 + 1,5 + 0,3 = 12,8 → 12,8 x 6,25 = 80 g (équivalent à 80 g de protéines)

Rôles

Métabolisme

Croissance

Fixation dans les tissus **chez le nourrisson** **4 à 6g/jour** (*pendant les premières semaines*)

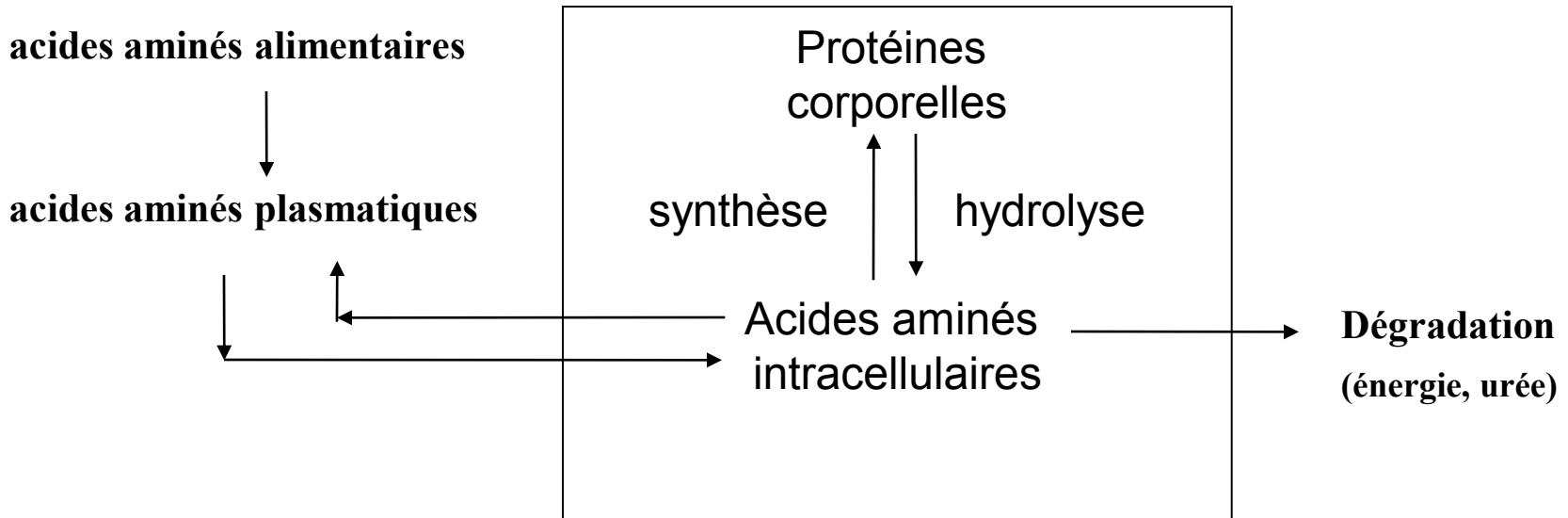
Entretien

Renouvellement constant

chez le nourrisson **20 à 24 g/jour**

chez l'adulte **300 g/j**

Synthèse à partir du pool des acides aminés intracellulaires



Il existe des besoins spécifiques pour la croissance et l'entretien

Digestion des protéines

Estomac

Pepsine (activé par HCl)

Intestin

Sécrétions pancréatiques (trypsine, chymotrypsine, élastase, carboxypeptidases)

Enzymes de la bordure en brosse (aminopeptidases...)

Enzymes cytosoliques (dipeptidases, tripeptidases)

Mécanismes d'absorption (sur la bordure en brosse des entérocytes)

transporteurs des acides aminés

transporteur de peptides (di et tripeptides)

Côlon

Flore colique

Dégradation des protéines, putréfaction,

synthèse de NH₃ qui diffuse dans le sang,

synthèse d'amines, synthèse des protéines microbiennes...

Synthèse protéique (rappels)

Transcription des gènes (ADN --->ARN messenger)

Traduction

- entrée des acides aminés dans la cellule

- activation des acides aminés (AA-ARNt synthétase)

- initiation (Met-ARNt sur le ribosome 40S...

Transformations post-traductionnelle (glycosylation, phosphorylation...).

Dégradation des protéines corporelles

Systemes protéolytiques

voie lysosomale

voie calcium dépendante

voie ubiquitine-protéasome dépendante

Rôle de ces processus

-renouvellement basal des protéines

-élimination des protéines anormales (glyquées, mal conformées...)

-élimination des protéines excédentaires

-régulation du métabolisme (apport d'énergie dans le cas de déficit d'apport énergétique par la ration...).

Les lysosomes sont des vésicules intracellulaires qui contiennent des protéases – cathepsines, carboxypeptidases dont le pH optimum d'action se situe aux alentours de 4 à 5).

Voie lysosomiale (importante dans le foie, les reins)

Dépendante de l'ATP

1) ciblage des protéines

- séquence KFERK (Lys-Phe-Glu-Arg-Gln)
- importante surtout lors de déficits alimentaires

2) Macroautophagie

- 1^{ère} étape: enveloppement d'une partie du cytoplasme par une double membrane
- 2^{ème} étape: fusion autophagosome avec les lysosomes (dégradation de l'ensemble membrane et cytoplasme contenu)

3) Microautophagie

- 1^{ère} étape: invagination de corps multivésiculaires (d'origine endosomique) qui permet l'internalisation de protéines ou d'agrégats de de protéines intracellulaires
- 2^{ème} étape: fusion avec les lysosomes

4) Hétérophagie

- permet l'internalisation de protéines extracellulaires (ex les antigènes)
- migration des hétérophagosomes vers la périphérie du noyau
- fusion avec les lysosomes

Voie calcium dépendante

- 2 calpaïnes (pH optimum neutre mais leur activité est fonction de la concentration du calcium)
 - elles hydrolysent les protéines du cytosquelette portant des séquences PEST (Pro-Glu-Ser-Thr-)
 - elles ont un inhibiteur spécifique, la calpastatine
 - l'inhibiteur régule l'activité des enzymes

La voie ubiquitine-protéasome

elle nécessite de l'ATP pour fonctionner

Il s'agit d'un complexe multicatalytique (protéasome 20S, 26S).

Il est présent dans le noyau et le cytoplasme des cellules

Il intervient dans

- la dégradation des enzymes et des protéines régulatrices
- la dégradation des protéines ayant une conformation anormale
- la dégradation des protéines lors des états cataboliques

immunité

- les peptides issus de l'hydrolyse des protéines par ce complexe peuvent devenir des antigènes qui sont ensuite mises en présence des molécules de classe I du CMH (complexe majeur histocompatibilité).

le vieillissement

il est intervenu dans la dégradation des protéines ayant réagi avec les AGE (advanced glycated end products ou produits terminaux de la glycation PTG). (La réaction de Maillard affecte la lysine des protéines et donc la fixation de l'ubiquitine sur les protéine ??? → dégénérescence du cerveau par accumulation de protéines indésirables????).

Les activités protéolytiques du protéasome diminuent avec l'âge...

Note

On ne sait pas contrôler la dégradation des protéines

Valeur nutritionnelle des protéines

Valeur nutritionnelle des protéines est définie par sa capacité à satisfaire les besoins de l'organisme en acides aminés avec le meilleur rendement possible.

La valeur nutritionnelle dépend:

- des besoins spécifiques d'un individu qui varient en fonction
 - de son âge
 - de son état physiopathologique
- de la nature et de l'origine de la protéine
- des traitements subis par la protéines qui affectent sa digestibilité et la composition des acides aminés.

Par extension

- de la présence de facteurs antinutritionnels qui peuvent perturber la digestion.

Valeur nutritionnelle des protéines et les critères de choix

Paramètres déterminant la valeur nutritionnelle des protéines (et donc leur choix en alimentation humaine):

- origine
- présence de facteurs antinutritionnels
- composition en acides aminés (équilibre entre les acides aminés)
- disponibilité des acides aminés (capacité de la protéine à être hydrolysée)
- vitesses d'hydrolyse des protéines et d'absorption des acides aminés...

- allergénicité
- activité pharmacologiques (des peptides issus de l'hydrolyse)
- risques pathologiques

Les critères pour un ingénieur des IAA sont souvent très différents...

- disponibilité sur le marché
- prix
- propriétés fonctionnelles...

(la composition et la digestibilité sont des facteurs essentiels en alimentation animale du fait des coûts des protéines).

Des personnes sont intolérantes au gluten (famille des protéines présentes dans les céréales panifiables: le blé, le seigle...). Cela n'a rien à voir avec la valeur nutritionnelle des protéines...

L'organisme n'est pas capable de synthétiser tous les acides aminés dont il a besoin, ceux-ci doivent être impérativement être présents dans les protéines alimentaires, à la bonne concentration...

<u>Essentiels</u>	<u>Semi-essentiels</u>	<u>Non essentiels</u>
Leucine	Histidine* (hématopoïèse)	Alanine
Isoleucine	Arginine (immunité, précurseur de NO, etc)	Glycine
Valine	Proline (cicatrisation)	Glutamate
Phénylalanine tyrosine	Glutamine (intestin)	Aspartate
Méthionine cystéine	<i>cystéine</i>	Asparagine
Thréonine		Tyrosine
Lysine		cystéine
tryptophane		

*L'histidine est indispensable chez le nourrisson et l'enfant

L'acide glutamique est l'acide aminé circulant le plus abondant dans le plasma. Les acides aminés non essentiels peuvent avoir des rôles spécifiques (cf précurseurs de neuromédiateurs, agent de détoxication par conjugaison

Il semble apparaître des recouvrements entre les acides aminés essentiels et non essentiels

La phénylalanine est un acide aminé essentiel. Elle est partiellement transformée en tyrosine. De ce fait une partie des besoins en phénylalanine peuvent être couverts par la tyrosine.

Le méthionine est le précurseur de la cystéine. Il vaut mieux apporter une protéine riche en cystéine. La concentration de la cystéine est plus élevée dans le lait maternel que dans le lait de vache. La cystéine est transformée en glutathion (détoxifiant, anti-oxydant...); en taurine qui a aussi de nombreux rôles (détoxification par conjugaison, anti-oxydant, synthèse des sels biliaires...).

Il n'est pas conseillé de rajouter de la cystéine libre dans les aliments. Les farines et les laits infantiles peuvent être supplémentées par de la taurine...

L'histidine est un acide aminé essentiel pour les très jeunes enfants. Il est très difficile de faire une carence prolongée en histidine (toutes les protéines en contiennent), il se pourrait qu'un déficit d'apport très prolongé, chez l'adulte, ait des conséquences sur sa santé...

La glutamine est un substrat énergétique des cellules intestinale. Les besoins seraient augmentés lors de pathologies lourdes.

L'organisme est capable de la synthétiser à partir de l'acide glutamique (et de l'acide α -cétoglutarique)...

La proline... il se pourrait qu'elle ait des effets favorables dans certains cas... L'organisme est capable de la synthétiser

L'arginine est un acide aminé essentiel chez le jeune rat. Il pourrait l'être aussi chez le très jeune enfant, sa synthèse ne serait pas toujours suffisante...

synthèse		
impossible	possible	Transamination
Leu Ileu Val Trp His?	Asp Asn Glu Gln Pro Ser Gly Ala Arg	possible
Met → Phe →	Cys Tyr	
Lys Thr		impossible

Rappels sur le métabolisme des acides aminés, chez l'homme.

Evaluation de la valeur nutritionnelle des protéines

Il est indispensable d'évaluer la valeur nutritionnelle des protéines:

- en alimentation infantile. Il faut éviter de donner aux bébés de trop grandes quantités de protéines.
- en alimentation animale. Le prix de revient le plus faible est toujours recherché. Les protéines ont un coût élevé...
- en technologie alimentaire. Les traitements technologiques peuvent affecter la composition des protéines. La valeur nutritionnelle permet de fixer des paramètres tolérables (et éviter tout risque pour la santé)...

On peut regrouper les méthodes en 2 grandes classes:

- les méthodes basées sur l'analyse chimique

l'indice chimique ou Chemical Score. Il est calculé en se rapportant à une protéine de référence.

-les méthodes in vivo

Elles utilisent le rat, en général très jeune (à la fin du sevrage). Il faut savoir que la croissance d'un rat mâle de souche Sprague Dawley peut être de 7 g par jour... Celle d'un bébé de 3,5 kg peut atteindre de 30 g/j pendant quelques jours seulement, soit moins 1 p. cent. Il est difficile d'extrapoler les résultats expérimentaux obtenus dans ces conditions à l'homme. (Les zootechniciens utilisent pour ces recherches, le veau, le poulet, le porcelet...)

Ces méthodes sont basées sur la croissance des rats ou les bilans d'azote.

Valeur nutritionnelle des protéines (notions classiques)

Méthodes chimiques

Indice chimique (chemical score)

Elle implique l'analyse des acides aminés de la protéines*. La concentration de chaque acide aminé essentiel est comparée à celle d'une protéine « idéale » spécifique d'un état physiologique donné. (protéine de référence = recommandations FAO 1986 pour les enfants d'âge pré-scolaire).

$$\text{I.C.} = \frac{[\text{AA}] \text{ protéine étudiée}}{[\text{AA}] \text{ protéine de référence}} \times 100$$

L'indice chimique de la protéine est donné pour **le rapport le plus faible** obtenu pour l'un des acides aminés essentiels
pour le pois (pour les AAS Met +CYS) = $20/25 \times 100 = 80$
pour le blé (l'acide aminé limitant primaire est la lysine) $35/58 \times 100 = 60$

Les protéines animales ont en général un IC proche de 100

Indice « Di-Sco » ou PDCAAS (protein digestibility corrected amino acid score)

La disponibilité des protéines n'est pas 100 p. cent. Un correctif est apporté est ajouté pour tenir compte de la digestibilité** des protéines (*cf infra*)

$$\text{Indice di-sco} = \text{PDCAAS} = \text{IC} \times \text{CUD}$$

Il faut noter que les compositions proposées par la FAO sont l'objet de nombreuses critiques.

**Voir cours sur les traitement thermiques pour les difficultés posés par cette analyse. L'hydrolyse par HCl 6N peut induire une surestimation des teneurs en lysine...*

***voir les méthodes biologiques (cf infra)*

	Nourrisson	Enfant d'âge pré- scolaire	Enfant d'âge scolaire	Adulte
His	26	19	19	16
Ileu	46	28	28	13
Leu	93	66	44	19
Val	55	35	25	13
Lys	66	58	44	16
Met + Cys	42	25	22	17
Phe + Tyr	72	63	22	19
Thr	43	34	28	9
Trp	17	11	9	5

Composition des « protéines de référence »

proposées par la FAO 1986. Les valeurs sont exprimées en mg par g de protéines.

Ces données peuvent encore être modifiées. Elles ne sont pas acceptées par tous les nutritionnistes.

Certains acides aminés ont des propriétés pharmacodynamiques qui peuvent devenir parfois intéressantes ...

	oeuf	Lait de vache	viande	blé	pois	Soja
His	22	27	34	30	23	25
Ileu	54	47	48	40	43	48
Leu	86	95	81	69	68	78
Val	66	64	50	48	47	52
Lys	70	78	89	35	75	61
AAS	57	33	40	40	20	31
AAA	93	102	80	76	73	88
Thr	47	44	46	33	41	43
Trp	17	14	12	11	9	15

Teneurs en acides aminés essentiels de quelques protéines alimentaires
Les teneurs sont exprimées en mg par g de protéines

Valeur nutritionnelle des protéines

Méthodes in vivo

Basées sur la croissance des animaux

Le CEP ou Coefficient d'Efficacité Protéique

Il est déterminé avec des rats âgés de 4 à 5 semaines (après le sevrage) qui reçoivent un régime contenant 10 p. cent de protéines (par rapport à la matière sèche)

$$\text{CEP} = \frac{\text{gain de poids (en g/j)}}{\text{quantité de protéines ingérées (en g/j)}}$$

Basées sur les bilans

La Valeur Biologique

$$\text{VB} = \frac{\text{I} - (\text{F} - \text{Fe}) - (\text{U} - \text{Ue})}{\text{I} - (\text{F} - \text{Fe})} \times 100$$

I = N ingéré, F = N fécal, U = N urinaire

Fe = N fécal endogène et Ue = N urinaire d'origine endogène (évalué avec des rats recevant un régime dépourvu de protéines ou contenant 4 p. cent de protéines d'œuf dont la digestibilité est de 100 p. cent).

Utilisation Protéique Nette ou UPN (calculé)

$$\text{UPN} = \text{VB} \times \text{CUD réel}$$

la méthode originale est plus complexe. Elle nécessite l'utilisation de 2 lots de rats. Un recevant la protéine à étudier et l'autre un régime protéoprive (ou contenant 4 p. cent de protéines d'œuf).

Digestibilité

Coefficient d'Utilisation Digestive (CUD)

$$\text{CUD} = \frac{\text{I} - \text{F}}{\text{I}} \times 100$$

$$\text{CUD réel} = \frac{\text{I} - (\text{F} - \text{Fe})}{\text{I}} \times 100$$

Nouveaux critères parfois proposés...

Vitesse de digestion

Protéines à digestion lente ou rapide (calqué sur le modèle des glucides à digestion rapide ou lente).

Intolérances

Gluten (maladie cœliaque).

Allergies

L'étiquetage doit informer le client de la présence de certaines matières premières dans les aliments.

Maladies autoimmunes

Influence des protéines du lait, du gluten (induction du diabète de type I).

Les propriétés pharmacologiques des peptides issus de l'hydrolyse des protéines

-composition en acides aminés (certaines protéines favorisent une baisse de la cholestérolémie).

Rappel

Pour ceux qui travailleront dans l'alimentation animale... Les besoins en acides aminés ne sont pas les mêmes dans toutes les espèces animales.

Evaluation de l'état nutritionnel (homme)

Mesure de la masse azotée dans l'organisme par:

- activation neutronique (pour mémoire)
- l'impédancemétrie (nécessite un matériel correct et un technicien bien formé...)

Méthodes indirecte

- le poids et l'indice de masse corporelle
- bilan azoté
- index créatinine/taille (la créatinine est dosée dans les urines)

la créatinine est synthétisée du muscle et sa synthèse est fonction de la masse musculaire. Le niveau de son excrétion urinaire reflète donc la masse musculaire

- 3 méthylhistidine (dosée dans les urines)

présente presque exclusivement dans les protéines myofibrillaires.

Le taux excrété dans les urines représente le catabolisme des protéines au moins pour 65 p. cent (le patient ne doit pas consommer protéines animales pendant la période où les dosages sont effectués -idem pour la créatinine-)

- le dosage de l'albumine n'est pas un critère. Sa valeur ne baisse que lorsque la malnutrition est déjà très avancée et très sévère...

Ces méthodes perdent leur intérêt depuis que la nutrition par la voie parentérale est devenue courante en particulier lors des pathologies lourdes affectant les fonctions digestives.....

Exploration métabolique

- dosage des AA circulants (peu courant, uniquement dans des cas particuliers)

L'impédancemétrie (pour mémoire)

l'organisme est composé pour 60 à 65 p. cent d'eau. La concentration des électrolytes y est très stable. Il constitue un conducteur électrique.

Pour Fricke, le corps peut être assimilé à une suspension de cellules dans un milieu conducteur homogène. Il peut être représenté par un schéma électrique constitué par deux résistances qui figurent les milieux extra et intracellulaires.. Les membranes séparant les deux milieux se comportent comme une capacité électrique.

Lorsqu'un courant alternatif traverse le corps

un courant de 1 à 5 kHz passe par la résistance extérieure

pour un courant de plus de 500 kHz la capacité membranaire ne présente presque plus de résistance.

$$V_{IC} = V_T - V_{EC}$$

Le besoin en protéines

Méthodes d'études

Enquêtes épidémiologiques

Etude de la consommation alimentaire dans une population considérée en bonne santé.

Méthode des bilans

Utilisée en laboratoire sur les animaux. Elle fut utilisée chez l'homme. Les résultats obtenus ne sont pas vraiment exploitables. Il est possible, pour un adulte, d'équilibrer le bilan pour des consommations très faibles. Les effets à long terme sont alors assez catastrophiques (état de fatigue...).

Méthode factorielle

Elle consiste à quantifier toutes les pertes (fécale, urinaire, desquamation...). Elle n'est plus utilisée depuis 70 ans.

Méthode des isotopes stables ou radio-actifs

Elle nécessite l'utilisation d'acides aminés marqués. Les résultats varient en fonction de l'acide aminé et du mode d'administration. Les résultats obtenus sur l'homme ont été l'objet de nombreuses controverses...

Rôles spécifiques (en plus de la synthèse des protéines) de quelques acides aminés

Acide aminé	devenir
Acides aminés aromatiques	Dopamine, noradrénaline, adrénaline, thyroxine, mélanine
tryptophane	Sérotonine, mélatonine, acide nicotinique (vitamine B3)
cystéine	Glutathion, taurine
Lysine	carnitine
histidine	Histamine, (3-méthylhistidine), carnosine
méthionine	donneur de CH ₃ , polyamines, choline, créatine,
Acide aspartique	pyrimidine, purine...
glutamine	Purine, détoxification du NH ₃ , équilibre acido-basique, source d'énergie pour certaines cellules (entérocytes...)
Acide glutamique	glutathion
arginine	NO, ornithine (pour le cycle de l'urée). L'ornithine est le précurseur de polyamines

Régulation hormonale du métabolisme protéique

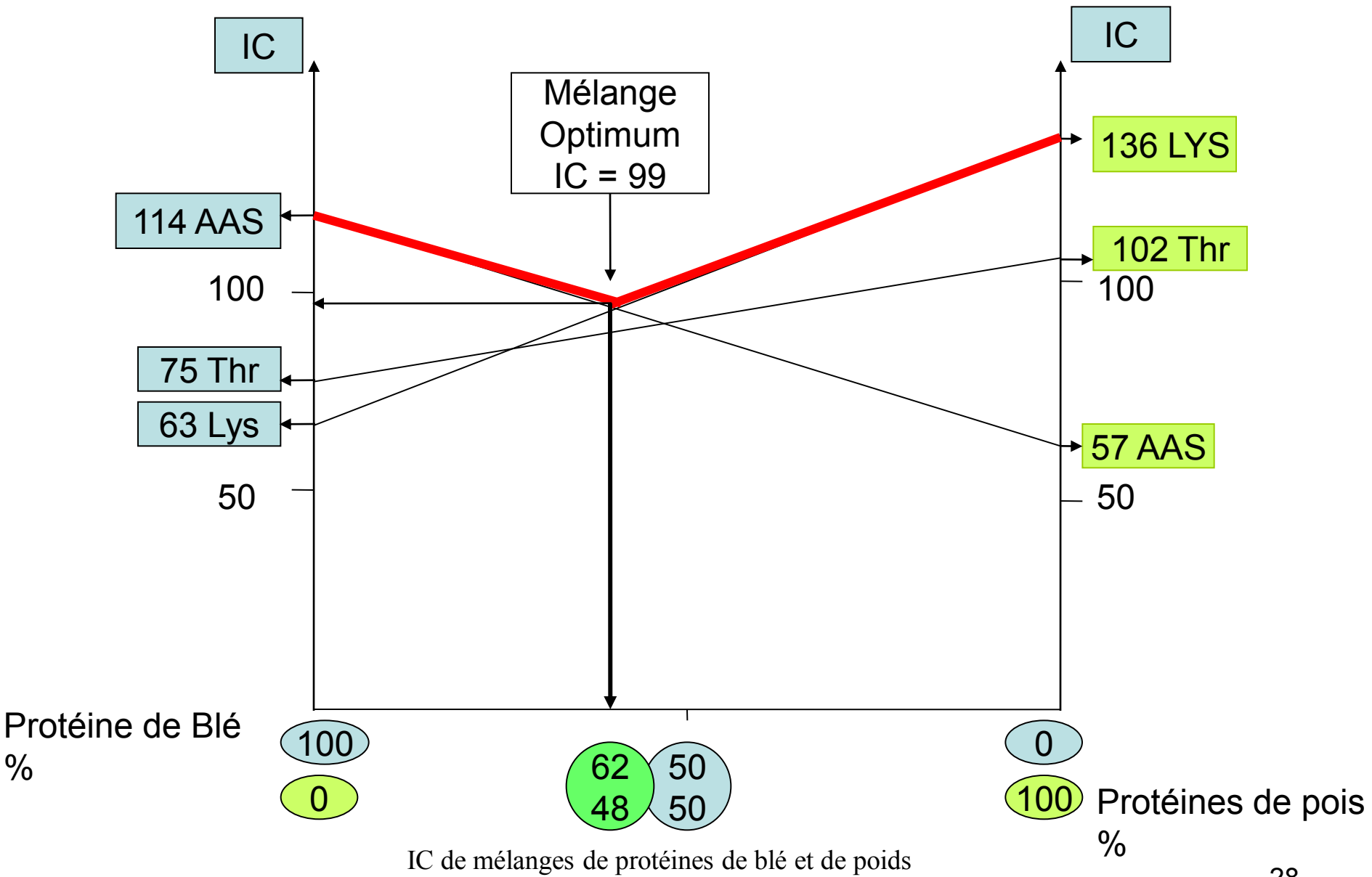
	effet	Modification du niveau de la sécrétion avec l'âge
Hormone de croissance IGF-1	Augmentation de l'anabolisme	Diminue
cortisol	Augmentation du catabolisme	diminue
insuline	Augmentation de l'anabolisme	diminue
testostérone	Augmentation de l'anabolisme	diminue

Les inter-supplémentations

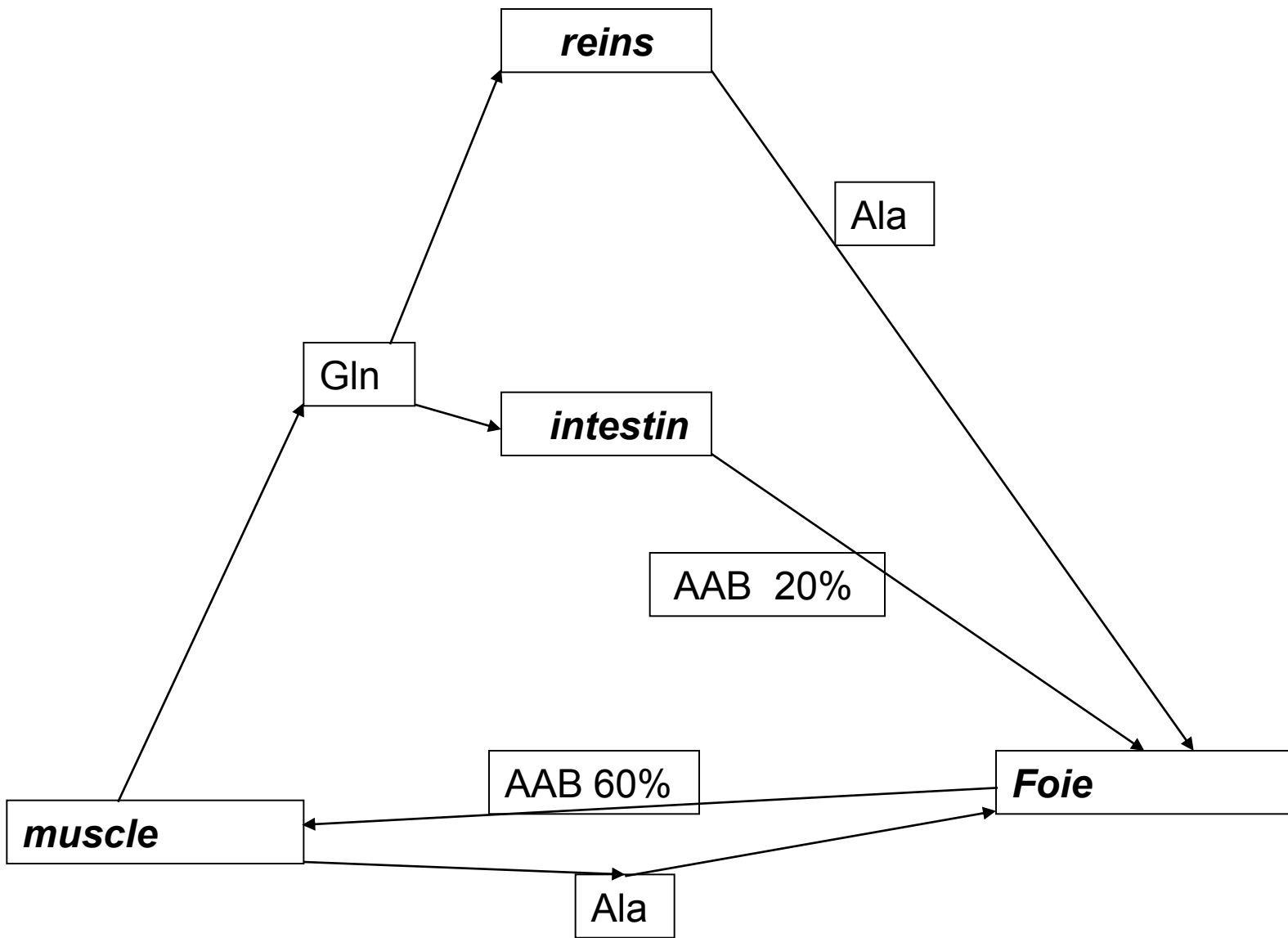
Les protéines de légumineuses sont en général carencées en acides aminés soufrés (acide aminé limitant primaire)

Les protéines de céréales le sont en lysine (acide aminé limitant primaire) et accessoirement en thréonine (acide aminé limitant secondaire) (le maïs est carencé en tryptophane).

Le fait de consommer des protéines de légumineuses et de céréales au cours d'un même repas permet d'obtenir un bon indice chimique... Il est possible pour un adulte d'être végétarien (mais attention aux carences en vitamines B12)...

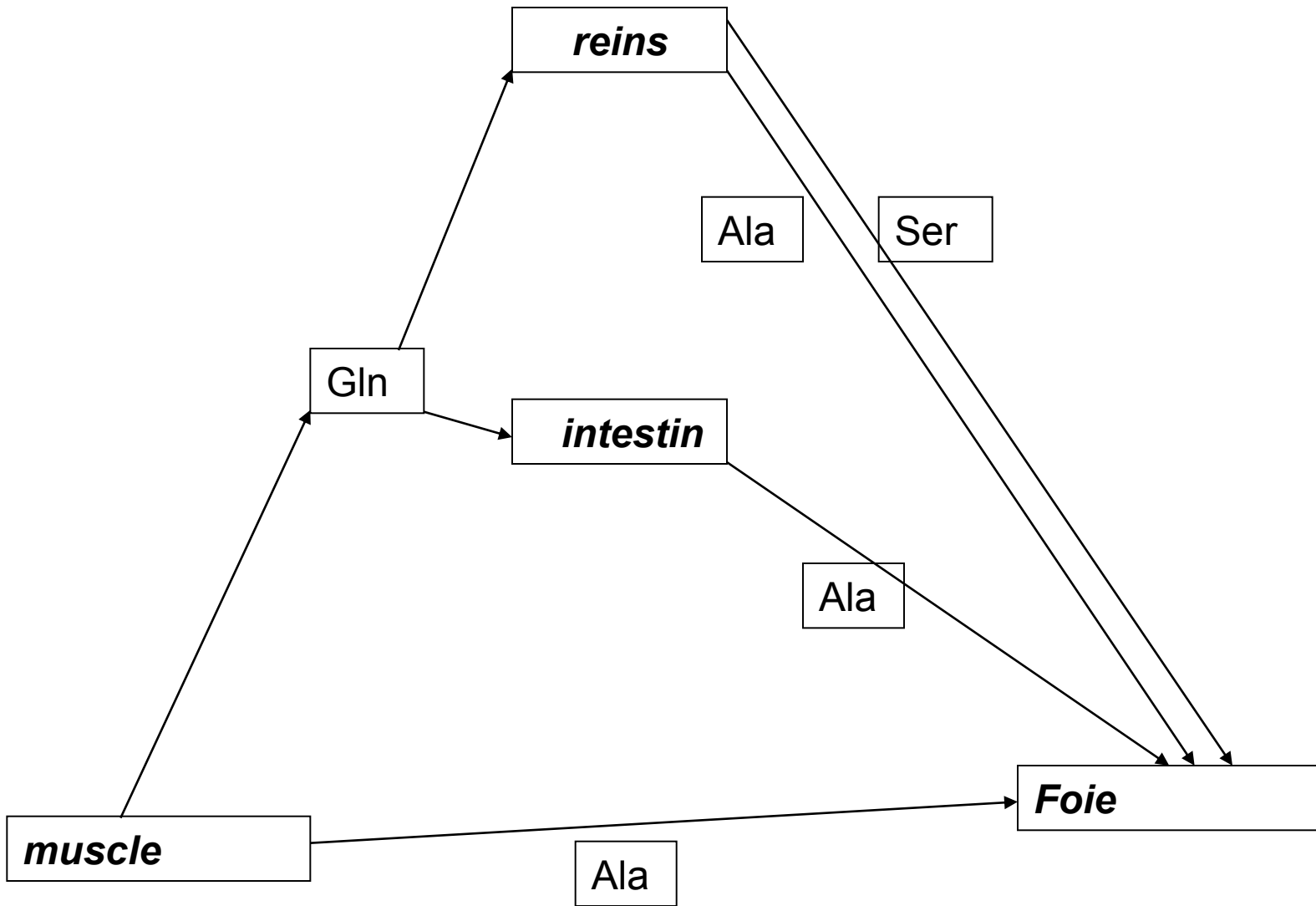


IC de mélanges de protéines de blé et de pois



Échanges des AA entre les organes après un repas (oxydation importante des AAB dans le muscle) + synthèse des protéines

AAB = AA à chaîne latérale ramifiée



Échanges des AA entre les organes chez une personne après 12 heures de jeûne

L'alanine et la sérine peuvent être transformées dans le foie en glucose qui servira de substrat énergétique au cerveau

AAB = AA à chaîne latérale ramifiée

Notes

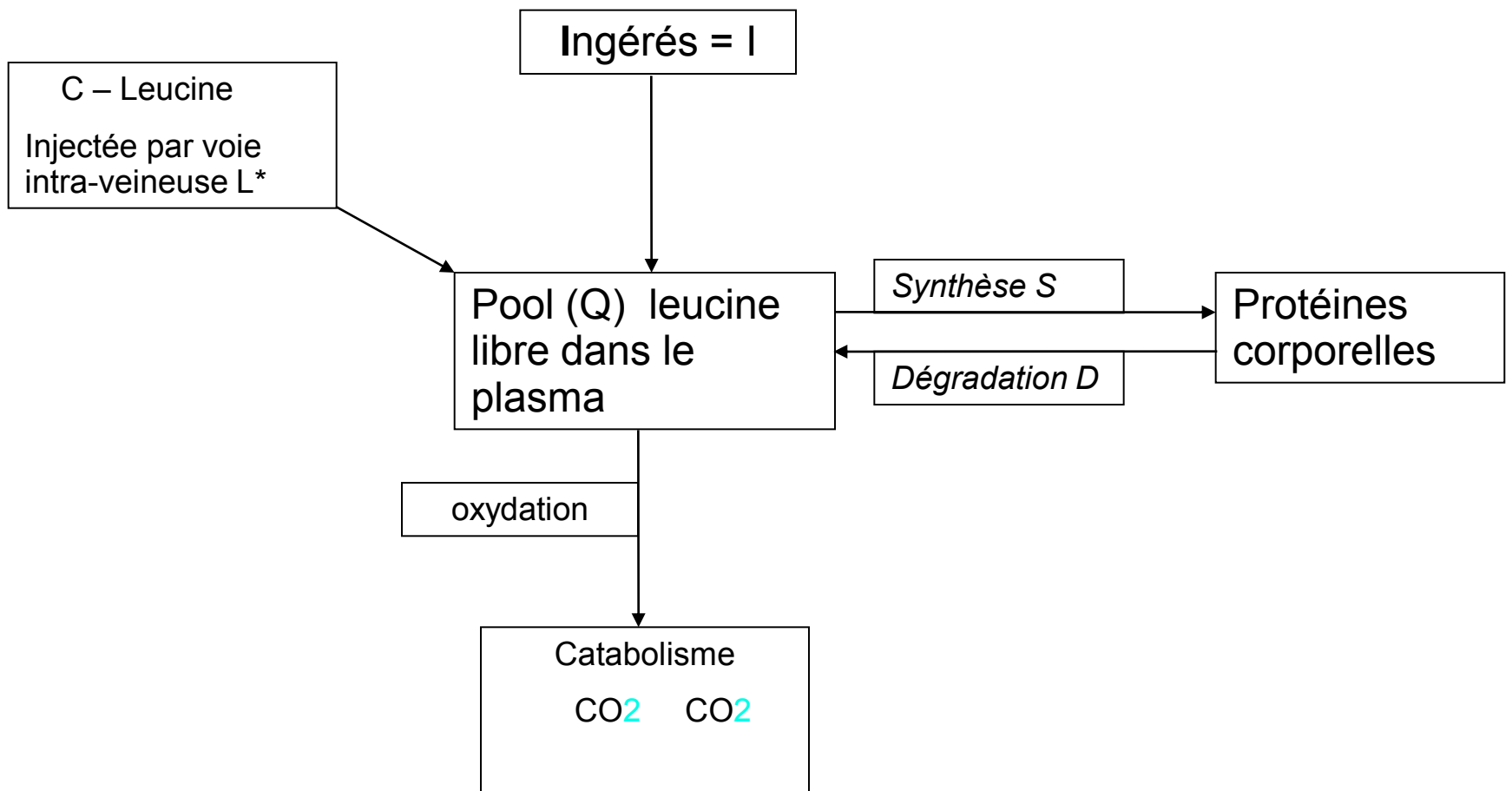
Après un repas, les acides aminés servent à la synthèse des protéines L'insuline favorise l'entrée des acides aminés dans le muscle et en particulier celle des acides aminés ayant une chaîne latérale ramifiée (Val, Ileu, Leu). Ces acides aminés sont essentiellement dégradés dans les muscles.

Les acides aminés aromatiques sont dégradés dans le foie.

Au niveau de la barrière encéphalique, il existe une compétition entre la Leu, l'Ileu, la Val, la Tyr, la Phe et le Trp pour le transporteur. Chez les personnes ayant une insuffisance hépatique (cirrhose) les acides aminés aromatiques sont mal peu dégradés dans le foie, il peut en résulter des troubles (ces acides aminés sont peu dégradés alors que la Leu, l'Ileu et la Val sont normalement catabolisés dans les muscles...)

Au cours du jeûne, les protéines sont dégradées et les acides aminés sont utilisés pour la néoglucogenèse... Le glucose est indispensable au cerveau...

Lors des régimes amaigrissants mal équilibrés, la fonte musculaire peut être importante. La perte de 1 g de protéines est accompagnée d'une perte de 4 g d'eau... Le régime peut paraître très efficace, sauf que la personne ne perd pas ou peu ses lipides...



À l'état stationnaire $Q = \mathbf{R Sorties (RS)} = \mathbf{R Apports (RA)}$

$RS = \text{synthèse} + \text{oxydation}$ et $RA = \text{Ingéré (I)} + \text{Dégradation (D)}$

à l'état de jeûne $I = 0$ on a $Q = S + Ox = D$

Les apports conseillés de protéines pour les enfants et les adolescents

Age ans	g/kg/j		
3-4	0,9		
4-5	0,9		
5-10	0,9		
garçons		filles	
10-12	0,85	10-11	0,9
12-13	0,9	11-14	0,85
13-15	0,85	14-16	0,8
15-16	0,85	16-18	0,8
16-17	0,85		
17-18	0,8		

Les apports conseillés de protéines pour les nourrissons et les très jeunes enfants

Age mois	Apports conseillés g/kg/j
0-1	2,6
1-2	2,1
2-3	1,7
3-4	1,4
4-6	1,2
6-12	1,1
12-24	1,0
24-36	0,9

Adulte sédentaire 0,85 g/kg/j

Sportif à l'entraînement 1,5 g/kg/j

Personne âgée 1 à 1,1 g/kg/j

Les besoins sont augmentés pour la femme enceinte et la femme qui allaite

Notes

Il existe des maladies dont les causes sont génétiques et qui peuvent affecter le métabolisme des acides aminés.

Le test de la phénylcétonurie est pratiqué sur tous les nourrissons. Dans le cas d'un résultat positif, les apports des acides aminés aromatiques doivent être fortement limités et contrôlés chaque jour...

On pourrait en citer d'autres: maladie de Hartnup, cystinurie, homocystinurie, hyperprolinémie...