

Chimie, biologie, métabolisme : le trio gagnant pour comprendre la nutrition

L'exemple des acides gras

Jean-Michel Lecerf est ancien directeur médical et chef du service de nutrition de l'Institut Pasteur de Lille. Il est aussi membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section Alimentation.

Introduction

La nutrition est une discipline scientifique qui fait appel à de nombreuses sciences exactes que sont les mathématiques, la physique, la chimie et, bien sûr, la biologie et la génétique. Mais elle doit aussi intégrer

des données issues de la psychologie, de la sociologie, de l'ethnologie, de l'anthropologie, de l'histoire ou de la cuisine... classiquement considérées comme appartenant aux sciences moins « dures », ce qui fait de la nutrition aussi une science humaine.

La génétique (et l'épigénétique) ainsi que la psychologie confèrent à la nutrition une variabilité interindividuelle considérable, comme pour toute matière humaine. Pour autant, la nutrition n'est pas une science exacte au sens strict dans la mesure où les données utilisées dans les modèles d'études expérimentales ou épidémiologiques sont certes précises mais pas réellement exactes : mesurer les apports nutritionnels d'un individu ou d'un groupe d'individus nécessite une collecte rigoureuse d'informations alimentaires tant sur le plan des ingesta que de la composition des aliments, ce qui n'est guère aisément obtenu.

1 L'objet de la nutrition

La nutrition a pour objet d'étudier et de définir les apports nutritionnels permettant de satisfaire les besoins nutritionnels (et alimentaires, car nous ne mangeons pas des nutriments mais des aliments) du sujet sain ou du sujet malade afin de maintenir ou restaurer sa santé. Mais ces besoins ne sont pas que nutritifs : ils sont aussi hédoniques et relationnels. Ainsi, l'acte alimentaire a une triple fonction : nourrir, réjouir et réunir (Lecerf, 2022). Les mécanismes métaboliques permettent à l'organisme de s'adapter en permanence pour maintenir notre homéostasie interne stable : poids, tissu adipeux, balance énergétique, glycémie, équilibre hydro-ionique (sodium/potassium), équilibre acido-basique, température corporelle, système immunitaire et état

inflammatoire, anabolisme et catabolisme protidique, lipolyse et lipogenèse, ostéof ormation et ostéodestruction, acides gras oméga 6 et oméga 3 – autant de balances directement ou indirectement modulées par notre alimentation. En effet, ces régulations biologiques sont en partie sous l'influence des apports énergétiques, lipidiques, protidiques mais aussi en micronutriments et micro-constituants. Mais la physiologie doit aujourd'hui intégrer un intermédiaire majeur qu'est le microbiote, véritable plaque tournante des interactions entre l'environnement (l'exposome) et le milieu intérieur. Le métabolisme est ni plus ni moins que l'ensemble des processus mis en œuvre par l'organisme pour maintenir stables ces équilibres, y compris en situation de déséquilibre nutritionnel.

L'exemple du métabolisme des acides gras nous paraît emblématique.

2 La biochimie des acides gras

Lorsque nous mangeons des lipides (environ 80 g/j), nous ingérons essentiellement des triglycérides (98 %), puis des phospholipides (2 %) et des esters de cholestérol (250 mg/j en moyenne), comprenant respectivement trois, deux, un acide(s) gras (liaison ester) (Lecerf et Schlienger, 2019).

L'unité de base en matière de lipides est donc celle des acides gras. Ceux-ci sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée avec un groupe-méthyle (-CH₃) terminal et un groupement carboxyle (-COOH).

On les classe selon plusieurs critères : leur longueur de chaîne et le nombre de doubles liaisons entre deux atomes de carbone (**Figure 1**).

On distingue donc les acides gras à chaîne courte (C2, C3 et C4, respectivement acide acétique ou acétate, acide propionique ou propionate, et acide butyrique ou butyrate) essentiellement produits par le métabolisme bactérien intestinal, qualifiés d'« acides gras volatils » mais également présents en petite quantité dans la graisse laitière, les acides gras à chaîne moyenne de C6 à C10 et les acides gras à chaîne longue (de C12 à C16) et très longue (à partir de C18).

La présence ou non de doubles liaisons et leur nombre conduisent à distinguer les acides gras saturés (pas de double liaison) et les acides gras insaturés : une double liaison (mono-insaturés), plusieurs doubles liaisons (poly-insaturés). La place de la première double liaison par rapport au groupement méthyle terminal va conditionner leur numérotation : n-3 ou oméga 3 signifie qu'elle se situe après le troisième atome de carbone à partir du CH₃, ou n-6 pour les deux familles d'acides gras poly-insaturés ; et n-7 ou n-9 pour les deux familles d'acides gras mono-insaturés.

D'autres éléments doivent aussi être pris en considération : d'une part, la configuration de la double liaison ; d'autre part, le fait qu'un atome de carbone sépare ou non une double liaison. La configuration habituelle est

SATURÉS	INSATURÉS			
	Monoinsaturés		Polyinsaturés	
	n-7	n-9	Oméga 6	Oméga 3
AGCC ≤ C10 Acide laurique C12 Acide myristique C14 Acide palmitique C16 Acide stéarique C18	Acide palmitoléique	Acide oléique	Acide linoléique ↓ Acide gamma linoléique ↓ Acide arachidonique	Acide α linoléique ↓ EPA ↓ DHA
Impairs C15 : 0 C17 : 0				

Figure 1

Les lipides alimentaires. Classification des acides gras.

dite « cis » : dans ce cas, les hydrogènes sont du même côté, ce qui aboutit à la formation d'une angulation, et donc d'une courbure dans la chaîne ; dans le cas contraire, lorsque les atomes d'hydrogène sont de part et d'autre de la double liaison, et donc en configuration « trans », cela aboutit à une absence de courbure, et donc à une chaîne droite. Quant au fait qu'il n'y aurait pas d'atome de carbone séparant deux doubles liaisons, ce qui n'est pas habituel, cela aboutit à des acides gras dits « conjugués ».

3 Nomenclature des physiologistes

Les acides gras saturés sont dénommés ainsi : C12:0 (acide laurique) soit 12 atomes de carbone et pas de double liaison, C14:0 (acide myristique), C16:0 (acide palmitique), C18:0 (acide stéarique). Mais il existe aussi des acides gras à très longue chaîne : acide arachidique (C20:0), acide béhénique (C22:0) et acide lignocérique (C24:0). Bien que la plupart des acides gras soient pairs,

certains sont impairs (C15:0 ou acide pentadécanoïque) et C17:0 (acide heptadécanoïque) d'origine laitière.

Les acides gras insaturés sont aussi désignés avec le nombre d'atomes de carbone, mais avec en plus la place de la première double liaison (n-3, -6, -7, -9) et le nombre de doubles liaisons figurant juste avant.

Les acides gras mono-insaturés appartiennent à deux familles : n-7 dont le principal est le C16:1n-7 (acide palmitoléique) et n-9 dont le plus important est le C18:1n-9 (acide oléique) ; ils ont donc une seule double liaison.

Les acides gras poly-insaturés sont désignés de la même façon : ils appartiennent à deux familles : n-3 et n-6. Leurs chefs de file sont le C18:2n-6 (acide linoléique) et le C18:3n-3 (acide alpha-linolénique), à ne pas confondre avec le C18:3n-6 (acide gamma-linolénique), qui possède aussi 18 atomes de carbone, trois doubles liaisons, mais la première double liaison après le sixième atome de carbone après le groupement méthyle et non pas après le troisième : il s'agit d'isomères de position d'origine et de rôles totalement différents.

– celles qui sont riches en acide linoléique (n-6) : tournesol, maïs, soja, carthame, noix, argan, pépins de raisin ;

– celles qui contiennent de l'acide alpha-linolénique (n-3) : colza, noix, soja, germe de blé, périlla, cameline, lin ;

– celles qui sont riches en acide oléique (n-9) : olive, colza, arachide ;

– celles qui sont riches en acides gras saturés, surtout acide palmitique : palme, beurre de cacao, palmiste, coprah, karité ;

– enfin, celles qui sont riches en acide gamma-linolénique (C18:3n-6) : onagre, bourrache, pépins de cassis.

Quant au beurre, il contient plus de 400 acides gras, une majorité d'acides gras saturés, notamment de l'acide myristique, mais aussi un acide gras très court caractéristique de la graisse laitière, l'acide butyrique, et des acides gras dits « mineurs » : trans tels que l'acide trans-vaccénique et conjugués tels que l'acide ruménique (linoléique conjugué).

On ne peut pas classer les acides gras selon leur nature animale ou végétale ; cela n'a pas de sens.

4 Les sources d'acides gras

Les aliments contiennent toujours un ensemble d'acides gras (sous forme de triglycérides).

Les corps gras sont soit des huiles (fluides ou concrètes si solides), soit des émulsions comme le beurre ou les margarines. Les huiles ont des caractéristiques que l'on peut résumer ainsi :

5 Aspects physico-chimiques

La biochimie des acides gras conditionne certaines caractéristiques des corps gras telles que leur point de fusion ou leur résistance au chauffage.

Le point de fusion est la température à laquelle un corps gras passe de la consistance

solide à la consistance liquide. Plus il est riche en acides gras saturés, et plus il est solide à température ambiante. Le beurre, qui contient 63 % d'acides gras saturés, a un point de fusion élevé à 32-35 °C, idéal pour une fonte en bouche. L'huile de coprah et l'huile de palmiste (noix du palmier à huile), respectivement 94 et 82 % d'acides gras saturés, restent très solides à température ambiante avec un point de fusion très élevé : elles sont qualifiées de «graisses concrètes». Plus il y a de doubles liaisons, et plus le point de fusion est bas : ainsi, une huile d'olive riche en acides gras mono-insaturés (acide oléique) est moins fluide qu'une huile de tournesol riche en acides gras poly-insaturés (acide linoléique) ; une huile de poisson très riche en acides gras poly-insaturés avec 5 ou 6 doubles liaisons a un point de fusion très bas (ce qui permet au poisson de rester souple pour se mouvoir dans les eaux très froides).

En ce qui concerne la résistance au chauffage, elle est un peu moins bonne lorsqu'il y a davantage de doubles liaisons. Ainsi, on déconseillera les fritures profondes avec une huile de colza, riche en acide alpha-linolénique (3 doubles liaisons), alors que l'huile de tournesol riche en acide linoléique (2 doubles liaisons) et l'huile d'olive riche en acide oléique (une double liaison) sont plus résistantes. Cependant, en friture plate unique, toutes les huiles conviennent car les espèces chimiques nouvelles formées (produits d'altération thermo-oxydative ou PATO)

sont minimales. La température critique correspond à ce point où des altérations peuvent survenir : elle est, par exemple, de 210 °C pour l'huile d'olive, très résistante.

6 La biologie des acides gras

On distingue les acides gras indispensables, car l'homme est incapable de les fabriquer, et les autres acides gras (Anses, 2011).

Les acides gras indispensables sont au nombre de trois : l'acide linoléique, l'acide alpha-linolénique et l'acide docosahexaénoïque ou DHA (C22:6n-3), encore appelé «acide cervonique». Ce dernier peut en fait provenir du C18:3n-3 mais la biotransformation endogène de l'acide alpha-linolénique en DHA (avec plusieurs étapes enzymatiques), bien qu'existant, est extrêmement faible (2 à 5 %), de sorte qu'il est maintenant considéré comme indispensable, d'autant qu'il a des fonctions essentielles (on confond parfois les deux termes, ce qui n'est pas juste). Le C18:2n-6 et le C18:3n-3 sont synthétisés par les plantes mais pas par les animaux : nous devons donc ingérer des plantes qui en contiennent ou la chair des animaux qui en ont mangé. Les plantes possèdent un delta 15-désaturase qui leur permet de passer du C18:2n-6 au C18:3n-3, ce que ne peuvent pas faire les animaux, ni donc l'homme (**Figure 2**).

Les deux familles d'acides gras poly-insaturés sont donc indépendantes puisque l'on ne peut

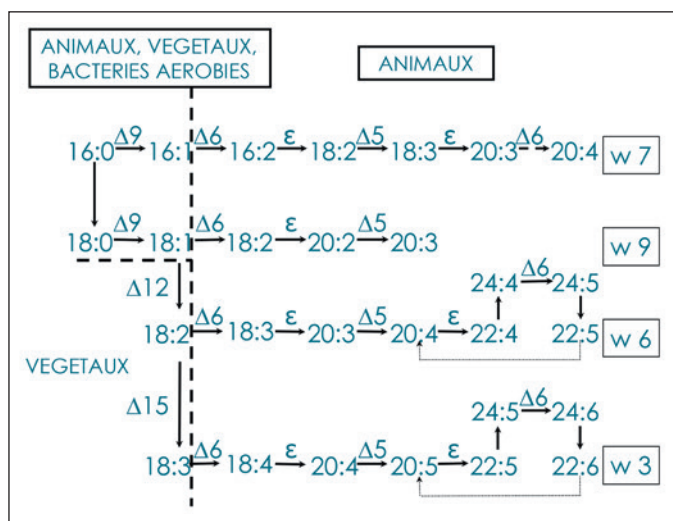


Figure 2

Synthèse des acides gras chez les plantes et les animaux.

pas passer de l'une à l'autre. Mais elles sont liées par le fait que les enzymes désaturases permettant de passer des chefs de file (précurseurs) aux dérivés supérieurs en rajoutant des doubles liaisons (DHA pour la voie oméga 3 ou n-3 et acide arachidonique [C20:4n-6] pour la voie oméga 6 [ou n-6]) sont les mêmes (Figure 3). Il y a

donc compétition de substrat. Or l'affinité des désaturases (delta 6-désaturase) est plus forte pour la série oméga 3 que pour la série oméga 6, ce qui compense le fait que l'apport en acide linoléique est 5 à 15 fois plus élevé que celui d'acide alpha-linolénique.

Certaines espèces animales sont déficitaires en désaturase. C'est le cas des félins qui doivent donc obligatoirement consommer les dérivés supérieurs (acide arachidonique et DHA), présents exclusivement dans la chair animale ; c'est pourquoi ce sont des carnivores obligatoires.

Le C16:1n-7 et le C18:1n-9 peuvent être synthétisés dans les plantes et chez les animaux, respectivement à partir du C16:0 et du C18:0.

Quant aux acides gras saturés, ils peuvent être synthétisés chez l'homme à partir des glucides au niveau du foie. Ils ne sont donc pas indispensables, mais ils sont utiles, sinon l'homme n'en fabriquerait pas s'ils étaient absents de l'alimentation.

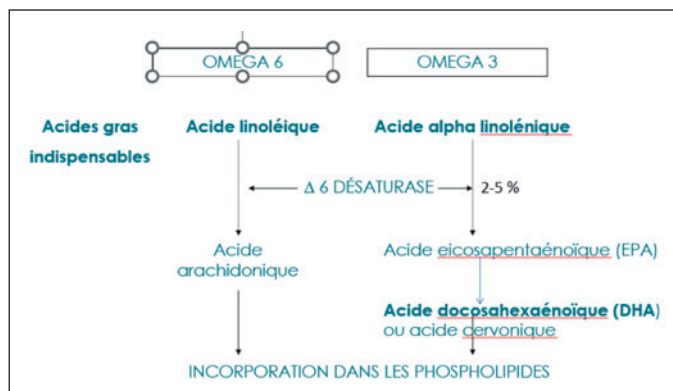


Figure 3

Les acides gras indispensables.

7 L'équilibre des acides gras poly-insaturés

Les dérivés supérieurs de l'acide linoléique et de l'acide alpha-linolénique (respectivement l'acide arachidonique et le DHA) ont des fonctions essentielles (cf. infra) et leur équilibre respectif est lui aussi essentiel car ils ont des fonctions opposées.

En particulier, le DHA est très important pour le développement cérébral et visuel du nouveau-né. C'est pourquoi,

pendant la grossesse, sous l'effet des œstrogènes, il existe une augmentation de l'activité des désaturases afin d'assurer une fourniture suffisante de cet acide gras au fœtus, d'autant plus importante si l'apport exogène (alimentaire) en EPA, ou acide eicosapentaénoïque, parfois surnommé « acide timnodinique » (provenant du thon), et surtout en DHA est insuffisant (poisson gras). En cas de prématurité, l'activité endogène des désaturases est faible chez le nouveau-né, de sorte que le lait qu'on lui apporte doit être impérativement le lait maternel ou un lait 1^{er} âge enrichi en DHA (ceci est devenu obligatoire pour tous). Chez les personnes végétariennes, et surtout végétaliennes, l'absence de produits animaux carnés conduit à un déficit d'apport en acide arachidonique et en oméga 3, ce qui est préjudiciable (Lecerf, 2023a). Seules les microalgues du type *Schizochytrium* peuvent en fournir aux végétaliens.

L'excès d'acides gras trans inhibe la biotransformation de l'acide alpha-linolénique en ses dérivés supérieurs. Au contraire, l'acide myristique (beurre) accroît l'activité de la delta 6-désaturase. Il est donc utile d'apporter des huiles et du beurre, ainsi que du poisson, dans l'alimentation.

La dénutrition, l'âge ou un diabète déséquilibré altèrent cette conversion.

Enfin, le plus important est de maintenir un ratio oméga 6/oméga 3 proche de 4/1 car, s'il est trop élevé, la conversion va s'orienter excessivement vers la série n-6 au détriment de la série n-3, et donc réduire

la synthèse de DHA. C'est une recommandation importante issue des derniers apports conseillés pour la population française (cf. Rapport d'expertise collective de l'ANSES, 2011).

8 Métabolisme des lipides

Lorsque nous ingérons des lipides, ceux-ci (excepté les triglycérides contenant des acides gras à chaîne moyenne) sont hydrolysés dans l'intestin par une lipase d'origine pancréatique conduisant à l'apparition d'acides gras libres (ceux qui sont en position 1 et 3 [externes] sur le glycérol des triglycérides) tandis que l'acide gras en position 2 constitue un 2-monoglycéride absorbé tel quel dans l'entérocyte (Figure 4).

Les triglycérides sont absorbés à 98 %. Dans l'entérocyte, les triglycérides sont reconstitués et incorporés dans de

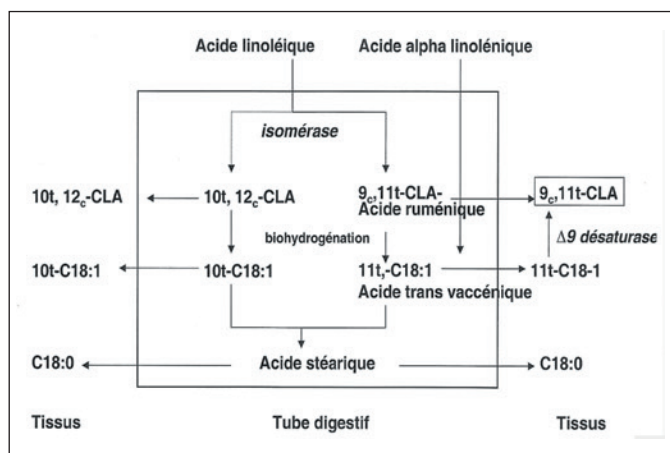


Figure 4

Absorption des lipides (triglycérides).

gros transporteurs de graisses appelés « chylomicrons », qui se forment dans les entérocytes, et contiennent une apolipoprotéine particulière, l'apoB 48. Ceux-ci sont transportés par voie lymphatique jusqu'au foie. Les triglycérides y sont hydrolysés par une lipase hépatique et les acides gras libérés sont alors intégrés dans le pool des acides gras hépatiques. Ils sont resynthétisés sous forme de triglycérides et exportés dans la circulation au sein de lipoprotéines appelées « VLDL » (*very low density lipoprotein*). Dans la circulation, sous l'effet d'une lipoprotéine lipase (LPL) endothéliale, les triglycérides des VLDL sont libérés puis fournis aux tissus ; les acides gras parviennent ainsi aux tissus, y compris le tissu hépatique où les acides gras poly-insaturés subissent l'action des élongases et des désaturases. Ils s'incorporent dans les phospholipides des membranes tissulaires. L'analyse de ceux-ci reflète le statut en acides gras du corps, et pour les acides gras

indispensables, elle reflète leur apport alimentaire. Mais la proportion des acides gras non indispensables, en particulier des acides gras saturés, traduit autant voire davantage leur synthèse endogène (lipogénèse de novo) à partir des glucides (fructose surtout) ou de l'alcool au niveau du foie. Cette synthèse aboutit à l'acide palmitique qui peut ensuite conduire à l'acide cis-palmitoléique marqueur de la lipogénèse de novo (à ne pas confondre avec l'acide trans-palmitoléique, un des acides gras de la graisse laitière). L'interprétation de ce type d'analyse est donc délicate et souvent inappropriée car la proportion d'acides gras saturés est d'autant plus grande que l'apport lipidique est faible et l'apport glucidique élevé !

On peut ainsi les mesurer dans le plasma (dans les esters de cholestérol), dans les phospholipides des membranes érythrocytaires (globules rouges) dans le tissu adipeux. De même, les acides gras poly-insaturés du lait maternel reflètent les apports alimentaires des femmes. À titre d'exemple, la teneur en acide linoléique du lait maternel des femmes américaines augmente de façon linéaire depuis cinquante ans en raison de la place croissante de l'huile de soja, alors que la teneur en acide alpha-linolénique est basse et (trop) faible. Les acides gras laitiers mineurs tels que le C15:0 et le C17:0 reflètent parfaitement la consommation de graisses laitières car ils n'ont pratiquement pas d'autre origine, de même pour l'acide trans-palmitoléique (Figure 5).

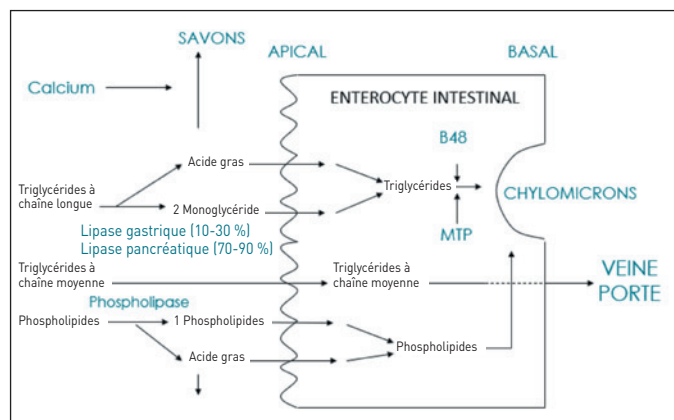


Figure 5

Acides gras laitiers et hydrogénation ruminale.

Les acides gras à chaîne moyenne des triglycérides ne passent pas par la voie des chylomicrons et la lymphe, et parviennent directement par la voie porte (veine hépatique) au niveau du foie. Cela leur confère une grande digestibilité : l'huile de coprah (noix de coco) en est riche. Ces acides gras ont des indications dans des maladies rares du transport des lipides.

9 La biodisponibilité des acides gras

La biodisponibilité des acides gras (Lecerf, 2023b) dépend en partie de leur position sur le glycérol : les acides gras en position 1 et 3 libérés dans la lumière intestinale seront moins absorbés en cas d'apport élevé en calcium, car, dans ce cas, une partie de ces acides gras libres vont former des savons avec le calcium, savons éliminés dans les selles. Cela explique que les acides gras saturés du fromage augmentent moins le cholestérol LDL que le même apport en acides gras saturés provenant du beurre. De même, dans le beurre de cacao ou dans l'huile de palme, les acides gras en position 1 et 3 sont majoritairement des acides gras saturés alors que ceux en position 2, prioritairement absorbés sous forme de 2-monoglycéride, sont principalement des acides gras insaturés, ce qui peut expliquer leurs effets moins hypercholestérolémiants que prévisible. Alors que les huiles de colza et de soja ont à peu près la même teneur en acide alpha-linolénique, la proportion de cet acide gras en position 2 sur le

glycérol est 3 fois plus élevée dans l'huile de colza, de sorte qu'il s'incorpore davantage dans les tissus. Or l'apport en cet acide gras est très insuffisant, deux fois plus bas que ce qui est conseillé.

9.1. Les rôles des acides gras

Ils sont triples : d'abord énergétiques, puisqu'ils fournissent 9 kcal/g (un peu moins pour les acides gras à chaîne moyenne) au lieu de 4 pour les glucides. Mais une calorie lipidique vaut une calorie lipidique. Toutefois, en cas de balance énergétique positive, une suralimentation lipidique réduit l'oxydation lipidique, ce qui conduit à un stockage accru.

Ce sont surtout les acides gras saturés et mono-insaturés qui sont utilisés pour le métabolisme énergétique ; de sorte qu'en cas d'apport trop faible en ces acides gras, les acides gras indispensables peuvent être utilisés à cette fin, ce qui est un gaspillage.

L'autre rôle des lipides est structurel puisque les acides gras poly-insaturés vont s'incorporer dans les tissus, les membranes cellulaires, en particulier dans les tissus nerveux et rétiens (les segments externes des photorécepteurs des cellules à bâtonnets). Cela explique le rôle majeur des acides gras oméga 3 à longue chaîne (DHA surtout) dans la prévention du déclin cognitif lié à l'âge et de la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Enfin, leur rôle est fonctionnel. C'est là encore un rôle majeur des acides gras poly-insaturés. L'acide arachidonique et le

DHA sont à l'origine d'une multitude de molécules qui sont des médiateurs chimiques : les eicosanoïdes (leucotriènes, prostaglandines) impliqués dans l'inflammation, l'allergie, la vaso- et la bronchoconstriction, l'agrégation plaquettaire..., mais aussi d'autres familles chimiques telles que les résolvines, les oxylipines (Lecerf, 2020). Il est surtout important de noter l'importance de l'équilibre entre les deux familles oméga 6 et oméga 3 qui conditionne l'équilibre entre les médiateurs de ces deux familles car ils sont opposés et s'équilibrent. Les acides gras saturés exercent aussi des rôles fonctionnels en se liant à des protéines pour les rendre actives : c'est ce qu'on appelle la « myristoylation » ou la « palmitoylation » des protéines.

9.2. Leurs effets sur la santé

Il n'existe pas de carence en acides gras saturés ou mono-insaturés car l'organisme est capable de les synthétiser. Un excès d'acides gras saturés élève le cholestérol plasmatique, le « mauvais » cholestérol LDL et le « bon » cholestérol HDL. Malgré cela, il n'y a pas de relation de cause à effet entre l'apport en acides gras saturés et le risque de maladie cardio-vasculaire. Par contre, l'excès de graisses saturées d'origine carnée augmente un peu le risque cardio-vasculaire tandis qu'un apport identique en graisses saturées d'origine laitière est associé à une diminution du risque cardio-métabolique (diabète et maladie cardio-vasculaire) (Lecerf, 2016). Cela suggère que les

graisses saturées ne sont pas en cause dans un sens ou dans l'autre et que l'effet observé est lié à ce qu'on appelle l'« effet matrice », c'est-à-dire à l'ensemble des autres constituants des aliments et à leurs interactions.

En revanche, les acides gras trans d'origine industrielle (tel l'acide élaïdique), c'est-à-dire issus de l'hydrogénation partielle des huiles végétales (une partie des doubles liaisons restantes prend la configuration trans), augmentent le risque cardio-métabolique. Heureusement, dans de nombreux pays, leur présence a chuté grâce à l'abandon de l'hydrogénation partielle au profit de l'interstérification mais surtout du fractionnement des huiles : paradoxalement, l'huile de palme a été un recours efficace pour l'obtention de fractions adaptées aux besoins de l'industrie alimentaire (margarines et pâtisserie, biscuiterie...). Les acides gras oméga 3 ont des effets très bénéfiques, surtout l'EPA et le DHA, pour la santé cardio-vasculaire, notamment grâce à leurs effets anti-inflammatoires au niveau de la plaque d'athérome et des antiagrégants plaquettaires. Ils contribuent aussi à la santé cognitive et rétinienne du fait de leur rôle à la fois structural et fonctionnel. Ils sont très importants pour le développement cérébral du fœtus et sa fonction visuelle.

Les carences en acides gras essentiels que sont l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique ont été décrites il y a fort longtemps, respectivement 45 et 90 ans, dans des conditions très particulières

d'alimentation artificielle (Lecerf, 2020); mais elles sont très rares car il faut des niveaux d'apport extrêmement bas pour que des conséquences clinico-biologiques apparaissent. Par contre, les déficits ou déficits d'apport existent, notamment pour les acides gras poly-insaturés oméga 3 à longue chaîne (EPA et DHA), par exemple chez les végétaliens. L'excès d'oméga 6 est aussi préjudiciable car, en augmentant le rapport oméga 6/oméga 3, il altère la biotransformation de l'acide alpha-linolénique en EPA et DHA.

10 Des filières alimentaires pour les acides gras oméga 3

On peut manger directement les acides gras indispensables (acide linoléique et acide alpha-linolénique) présents dans les graines et huiles (et margarines) qui en sont issues, ou présents (DHA) dans le poisson (gras surtout). Mais on trouve aussi l'acide alpha-linolénique dans d'autres végétaux tels que le chanvre, la luzerne, le lin, ou – encore plus comestibles – le pourpier, la mâche, l'épinard, le germe de blé, les graines de moutarde. Les escargots qui se nourrissent de pourpier s'enrichissent de cet acide gras, de même que les poules qui mangent ces escargots; les monogastriques (porc, volaille, lapin) recevant de la luzerne ou des graines de lin ont une chair qui s'enrichit en acide alpha-linolénique (le lapin fournit la chair la plus riche en acide alpha-linolénique, proche de celle du gibier sauvage); de même

pour les œufs des poules avec, en outre, une petite augmentation en EPA-DHA. En ce qui concerne les ruminants, cette augmentation est modeste du fait de l'hydrogénation ruminale (**Figure 6**).

Il est également possible d'enrichir l'alimentation des poules avec des microalgues riches en DHA comme *Schizochytrium* (un des constituants du phytoplancton), donnant lieu à une forte augmentation de leur teneur en ces acides gras sans modification de leur goût (ce qui n'est pas le cas avec la farine ou l'huile de poisson), ce qui peut avoir un intérêt dans la prévention de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (Berthier *et al.*, 2021). Rappelons que la richesse en oméga 3 à longue chaîne des poissons provient pour les herbivores de l'ingestion de phytoplancton et pour les carnivores de l'ingestion de poissons herbivores !

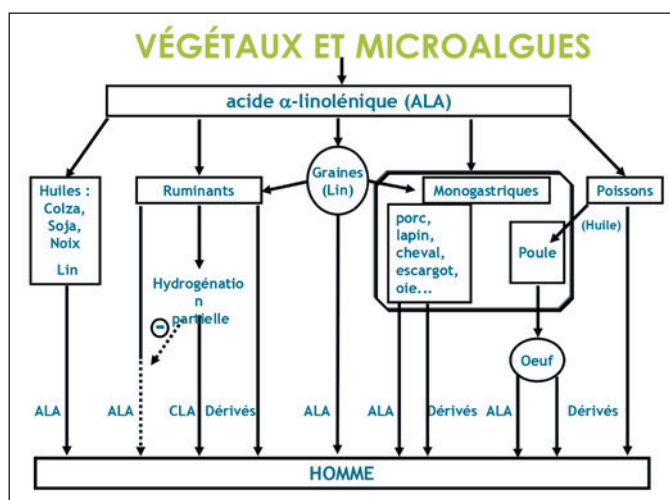


Figure 6

Les filières des acides gras oméga 3.

Conclusion

La complexité est le maître-mot de la nutrition sur le plan scientifique. L'équilibre alimentaire justifie de varier les sources d'aliments sans rien omettre. Les huiles végétales, le beurre, les produits laitiers et le poisson font partie de cette diversité. La biochimie des acides gras est importante pour comprendre leur métabolisme. Les acides gras indispensables sont directement impliqués dans des fonctions essentielles : leur apport et leur proportion sont à l'origine de l'homéostasie de certaines de nos fonctions vitales. Ainsi, chimie, biologie et métabolisme sont nécessaires pour comprendre ce qu'est la nutrition.

Bibliographie

ANSES (2011), Rapport d'expertise collective « Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras ».

Berthier C., Acar N., Simon E., Thabuis C., Bourdillon A., Matthiaud A., Dauchet L., Delcourt C., Benlian P., Crochet M., Defourt S., Tailleux A., Staels B., Bretillon L., Lecerf J.-M. (2021), « Effects of the daily consumption of eggs enriched in lutein and docosahexaenoic acid on plasma composition and

macular pigment optical density », *Nutrients*, 13(10):3347.

Lecerf Jean-Michel (2016), « Acides gras saturés et risque cardio-métabolique », *Médecine des maladies Métaboliques*, vol. 10, n° 5, pages 421-429.

Lecerf Jean-Michel (2020), « Acides gras essentiels », *Encyclopédie médico-chirurgicale. Endocrinologie-Nutrition* : 1-13 [Article 10-542-F-10].

Lecerf Jean-Michel (2022), *La Joie de manger*, Les Éditions du Cerf, Paris, 242 pages.

Lecerf Jean-Michel (2023a), « Impact du mode alimentaire végétalien sur la santé », *Méd. Mal. Métab.*, vol. 17, n° 5, pages 427-436.

Lecerf Jean-Michel (2023b), « Mécanismes en jeu dans la biodisponibilité des lipides », *Pratiques en nutrition*, vol. 19, n° 74, pages 13-15.

Lecerf Jean-Michel et Schlienger Jean-Michel (2019), *Nutrition préventive et thérapeutique*, Elsevier Masson, 2^e éd., Paris, 382 pages.