

Les lipides en alimentation animale

Sébastien Lefebvre, PhD, DMV
Service de Nutrition et Bromatologie, VetAgro Sup, Marcy l'Etoile, FRANCE
Email: sebastien.lefebvre@vetagro-sup.fr

Copyright © 2017 pour les auteurs
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Résumé :

Les lipides sont une famille hétérogène de nutriments. Ils sont une source non négligeable d'énergie et des précurseurs essentiels d'hormones et de molécules nécessaires à la bonne physiologie des animaux. Ce cours présente les propriétés nutritionnelles des lipides et leur importance dans l'alimentation animale.

Mots clefs :

Lipides ; nutrition; acides gras essentiels

1 Introduction

Les matières grasses sont un ensemble hétérogène de nombreux composés solubles dans les solvants et insolubles dans l'eau. Cet ensemble comprend les lipides, leurs dérivés et les complexes lipidiques. Ils sont une source importante d'énergie et sont des précurseurs de synthèse pour de nombreuses molécules essentielles au bon fonctionnement de l'organisme. Dans ce chapitre, nous abordons les matières grasses dans une optique de nutrition. Les bases physico-chimiques des lipides et de leurs dérivés ainsi que la biochimie des lipides sont présentées succinctement pour se concentrer sur leur importance en nutrition et diététique. Ainsi cet article traitera essentiellement des acides gras linéaires insaturés

2 Structures et physicochimie

2.1 Les acides gras

Le composé de base des matières grasses biologiques est l'acide gras. Les acides gras sont composés d'une chaîne carbonée plus ou moins longue et d'une fonction acide. Leur différenciation se fait à partir des caractéristiques de leur chaîne carbonée qui leur donne des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes. La première caractéristique est la taille de la chaîne carbonée, plus celle-ci est longue plus l'acide gras a un point de fusion bas. La seconde

est la présence, ou non, d'insaturation, plus l'acide gras possède d'insaturation plus son point de fusion est bas. Enfin pour les acides gras insaturés, la conformation des doubles liaisons, les conformations *cis* abaisse le point de fusion. De plus, les conformations *cis* sont plus sensibles à l'oxydation que les *trans*.

La nomenclature physiologique des acides gras prend en compte le nombre de carbones, celui-ci est toujours pair pour les acides gras biologiques, le nombre d'insaturations et pour les acides gras insaturés leur famille. La famille des acides gras est déterminée par la position de la première double liaison en partant du carbone à l'opposé de la fonction acide (carbone aussi appelé oméga). Une présentation de la nomenclature est faite dans la **Figure 1**.

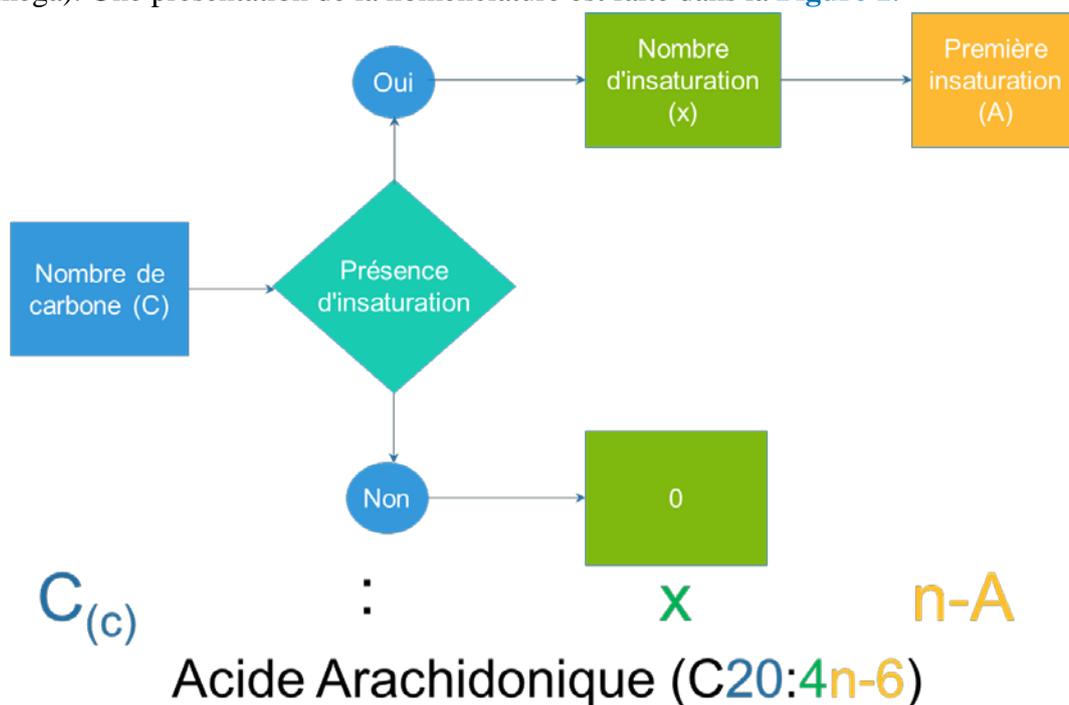


Figure 1 : Nomenclature physiologique des acides gras.

La famille des acides gras insaturés est déterminante pour leur rôle physiologique. Ainsi les mammifères n'ont pas la possibilité de synthétiser des acides gras oméga-3 ou oméga-6 qui sont des précurseurs de synthèse essentiels pour leur physiologie. Les oméga-3 et les oméga-6 sont qualifiés d'acides gras essentiels. L'alimentation devra donc fournir ces nutriments.

La nutrition humaine apporte beaucoup d'importance aux acides gras oméga-9. En raison de la position de leur première liaison, ceux-ci sont monoinsaturés et préviendraient les risques cardiovasculaires et le syndrome métabolique chez l'homme¹⁻³. Ces risques n'étant pas ou peu présents chez l'animal, l'importance des oméga-9 dans leur alimentation est minime.

Enfin, les acides gras insaturés sont sensibles à la chaleur et à l'oxydation. Cette sensibilité est grande pour les oméga-3 intermédiaire pour les 6 et faible pour les 9. Un bon stockage, à l'abri de la chaleur, de la lumière et de l'atmosphère, est essentiel pour qu'ils puissent conserver leurs propriétés.

2.2 Les lipides simples

Les lipides simples sont le résultat de l'estérification d'un ou plusieurs acides gras avec un alcool. Trois types d'alcools s'estérifient avec les acides gras (AG) :

- Glycérol + AG => glycérides
- Cholestérol + AG => stérides
- Alcool à haut poids moléculaire + AG => cérides

Les lipides simples sont une forme importante de stockage chez les mammifères. Ainsi les glycérides sont la forme de stockage d'énergie la plus importante. Les stérides sont la forme de stockage du cholestérol dans les tissus, c'est aussi sa forme de transport.

À la différence des deux autres catégories de lipides simples, les cérides n'ont pas d'utilité de stockage. Ils sont à l'origine des cires animales et végétales. Par exemple le palmitate de cétyle des cétacés (que l'on retrouve dans l'organe du spermaceti) ou la cire d'abeille. Ce sont des composés solides à température ambiante.

2.3 Les lipides complexes

Les lipides complexes sont des hétérolipides. Ils sont composés d'une base de glycérol ou de sphingoside, d'un ou deux acides gras et d'un groupe phosphate, sulfate ou glucidique. Ils sont les principaux constituants des membranes cellulaires et ont des rôles dans la transmission nerveuse et dans la transduction des signaux cellulaire. En effet de par leur constitution certain lipide complexe sont des sources de choline (Phosphatidylcholines) ou d'inositol triphosphate (Phosphatidylinositol). On retrouve aussi un lipide complexe, le dipalmitoyl-phosphatidylcholine, dans le surfactant pulmonaire.

2.4 Les lipides isopréniques

Contrairement aux autres lipides, ceux-ci ne sont pas constitués à base d'acide gras, mais à base d'isoprène. C'est une famille fondamentale. En effet, les vitamines hydrosolubles (A, D, E et K) comprennent ou sont dérivées de polymères d'isoprène. De même, les stérols sont synthétisés à partir d'un polymère d'isoprènes : le squalène **Figure 2**. Chez les mammifères le squalène et le cholestérol sont formés à partir de l'acétyl-CoA.

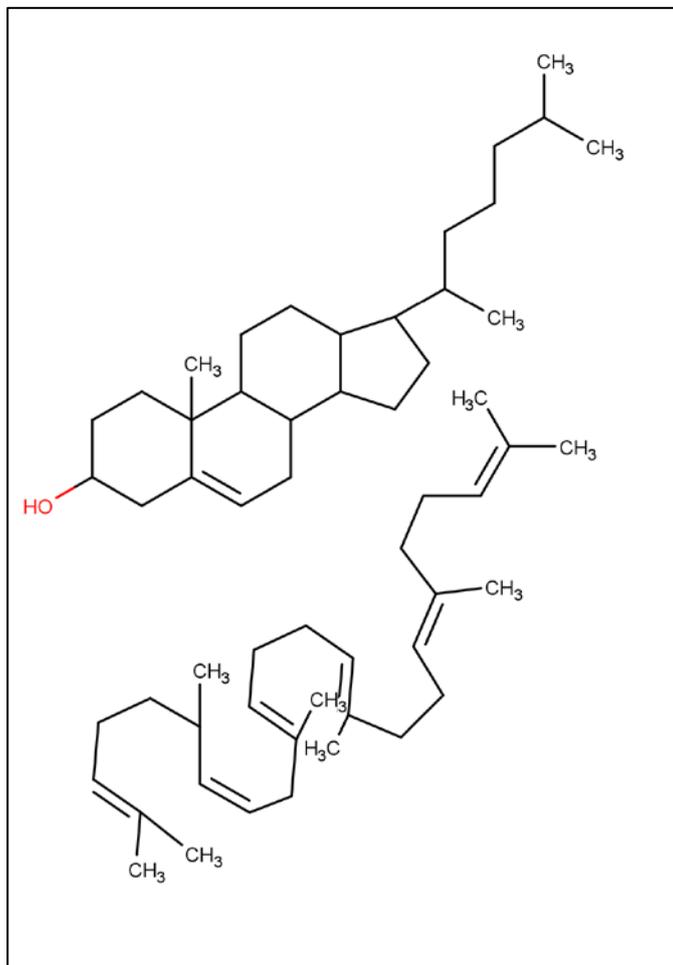


Figure 2 Cholesterol et squalène

3 Les lipides dans l'alimentation et méthodes analytiques

Cette partie traitera principalement des sources d'acides gras insaturés.

3.1 Source de lipide alimentaire

3.1.1 Matière première

Les matières grasses sont le plus souvent extraites des tissus gras des animaux et des graines. Cependant, les lipides sont présents dans tous les tissus vivants. Leur quantité et leur qualité dépendent de leur origine animale ou végétale, mais aussi de l'espèce de cette source, de sa physiologie et des nutriments dont elle a accès.

Il est à noter que la composition en acide gras des tissus des monogastriques est souvent le reflet de leur alimentation⁴. Si nous prenons l'exemple des productions porcines, des relations linéaires entre la teneur de leur alimentation en acides gras insaturés et l'indice d'iode de leurs graisses ont été décrites^{5,6}. De plus, les monogastriques nourris avec plus des acides gras de la

famille des oméga-3 ou 6, ont un plus grand pourcentage de ces types acides gras dans leurs tissus ^{4,7,8}. Ce phénomène est aussi présent chez les ruminants à une moindre échelle ⁴.

Les animaux marins sont aussi une source importante d'acides gras et plus particulièrement d'acide gras de la famille des omega-3. Cependant de grandes différences existent selon l'espèce, la saison ou la région ^{4,9}.

On notera la présence dans les graisses d'origine animale d'acides gras polyinsaturés à chaîne longue (plus de 20 carbones).

Concernant les matières grasses d'origine végétale, on en trouve principalement dans les graines (notamment dans les graines d'oléagineuse) et certains fruits (olives...). Les feuilles et les herbes contiennent en général peu de lipides, mais ceux-ci sont riches en acide α -linoléique un omega-3. Les algues marines sont aussi riches en ce composé. À l'opposé des graisses d'origine animale, les graisses végétales contiennent peu ou pas d'acides gras polyinsaturés à chaîne longue des familles omega-3 et 6 (**Tableau 1** et **Tableau 2**).

Tableau 1: sources alimentaires des principaux acides gras essentiels

Acides gras	Principales sources
Acide linoléique (18:2n-6)	Huiles végétales (Tournesol > soja, maïs >> olive) >> lard, graisse de volaille
Acide arachidonique (20:4-6)	Beurre, graisse animale, huile de poisson
Acide α -linoléique (18:3n-3)	Huile de soja >> huile de poisson, huile de maïs
Acide eicosapentaénoïque (20:5n-3)	Huile de poisson

Tableau II: compositions qualitatives de en acide gras de certaines huiles ou graisses en pourcentage ^{10,11}. Traces <1%.

	Colza	Soja	Ray-grass	Dactyle	Lin	Olive	Saindoux	Suif de bœuf	Beurre	Foie de morue
4 :0	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
6 :0	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
8 :0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
10 :0	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
12 :0	-	-	-	-	-	-	Traces	-	4	-
14 :0	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	-	2	3	12	1
16 :0	4	10	12	11	6	9	16	26	31	18
18 :0	1	4	2	3	3	3	9	19	10	5
20 :0	1	Traces	-	-	-	Traces	-	-	-	-
22 :0	Traces	Traces	-	-	-	Traces	-	-	-	4
16 :1	2	Traces	2	2	-	Traces	4	6	2	4
18 :1n-9	54	25	15	-	17	80	43	40	23	15
20 :1n-9	-	-	-	-	-	Traces	-	-	-	10
22 :1n-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
18 :2n-6	23	52	68	79	13	4	10	5	2	2
18 :3n-3	10	7	-	-	55	Traces	Traces	Traces	Traces	-
20 :4n-6	-	-	-	-	-	-	Traces	Traces	-	1
20 :5n-3	-	-	-	-	-	-	Traces	Traces	-	6
22 :6n-3	-	-	-	-	-	-	Traces	Traces	-	27
Autre	5	2	7	0	6	4	1	4	1	2

3.1.2 Produits transformés

Les lipides disponibles dans le commerce sont souvent transformés. Les formes les plus simples sont les graisses et les huiles. Elles sont composées exclusivement de lipides après extraction depuis la matière première. Les graisses sont les extraits solides à 15°C (saindoux) et les huiles sont les extraits liquides (huile d'olive). D'autres formes de lipides peuvent être sous forme d'émulsion (margarine ou beurre). Le beurre est une émulsion des matières grasses du lait, toute matière grasse d'une autre origine en émulsion est une margarine. De même beaucoup d'autres produits sont nommés beurres par excès de langage : le « beurre de cacao » est en fait une graisse (pas d'émulsion). De même, « l'huile de palme » est une graisse végétale.

Ces huiles et ces graisses peuvent ensuite être incorporées dans les aliments complets. Ainsi dans les aliments complets le taux de lipide est en grande partie défini par le fabricant. Lors de la fabrication de ces produits transformés, il est important de prendre en compte les possibles dénaturations résultant du processus utilisé (point discuté au paragraphe suivant).

Dans le cas des ruminants, les principales sources d'acides gras alimentaires provenant de produits transformés sont les tourteaux gras. On peut aussi utiliser des matières grasses protégées sous forme cristallisée, de savon calcique ou enrobée par des protéines tannées, voir [ci-dessous](#).

3.2 Conservation des lipides

Comme annoncé plus haut, les acides gras insaturés sont sensibles à la lumière et à la chaleur. Ces dénaturations peuvent être légères et conduire à l'hydrolyse des lipides. Cette hydrolyse libère les acides gras ce qui augmente l'acidité de l'aliment et diminue son ingestibilité. Des dénaturations plus importantes peuvent survenir si l'aliment est soumis trop longtemps à la lumière, l'air ambiant ou à une température élevée. Ces facteurs favorisent l'isomère *trans* des doubles liaisons des acides gras, oxygénation de ces doubles liaisons et la formation de composé toxique et cancérigène (acrylamide) ¹²⁻¹⁵.

Le passage à l'isomérisation *trans* des doubles liaisons a des conséquences sur la qualité des acides gras. En effet, les acides gras essentiels sont uniquement composés de doubles liaisons *cis*, en changeant d'isomérisation ces acides gras perdent leur qualité d'acide gras essentiel.

Les oxydations peuvent aussi avoir lieu à température ambiante lors de la conservation de l'aliment. Ce qui peut avoir des conséquences sur la qualité globale de l'aliment. Les oxydes d'acides gras peuvent altérer les autres nutriments comme la vitamine E ¹⁶. Ainsi pour améliorer la conservation des aliments tout en gardant des acides gras de haute qualité, il est possible d'utiliser des antioxydants comme conservateurs. L'intérêt des antioxydants a été confirmé dans l'alimentation des poulets de chair, où ils permettent d'augmenter la croissance des poulets, par rapport à un aliment de même valeur nutritionnelle qui ne contient pas d'antioxydant ¹⁷.

Pour limiter ces dénaturations, les processus industriels utilisent souvent une hydrogénation préalable des lipides. Cette hydrogénation diminue le nombre d'insaturations et change l'isomérisation de certaines doubles liaisons *cis* en configuration *trans*. Enfin, le procédé déplace certaines doubles liaisons le long de la chaîne carbonée. Les acides gras ainsi formés sont plus résistants à l'oxydation ce qui facilite la conservation de l'aliment et facilite le processus industriel. Cependant, ces transformations d'acides gras ont des conséquences sur la qualité des lipides qui contiennent moins d'acides gras insaturés, moins d'acides gras essentiels, plus d'acides gras insaturés *trans* et plus d'acides gras saturés. En plus de la perte de qualité, l'augmentation de la part d'acides gras saturés et d'acides gras *trans* a des conséquences sur la physiologie des lipides, notamment par l'augmentation des LDL sanguins et la diminution des HDL sanguins. Ceci conduit à une augmentation du risque de certaines affections, notamment cardiovasculaires, chez l'homme ¹⁸⁻²⁰. À ce jour, aucune étude ne permet de conclure sur l'impact des acides gras *trans* sur la santé des animaux domestiques ⁴.

Afin de conserver une qualité optimale des lipides, surtout quand ceux-ci contiennent un fort taux d'acides gras polyinsaturés *cis*, il est conseillé de les stocker à l'abri de la chaleur, de la lumière et de l'air ambiant. De plus, les sources de lipides riches en acides gras polyinsaturés ne doivent pas être cuites.

3.3 Méthode d'analyse des lipides

Il existe un grand nombre de méthodes d'analyse de la quantité et de la qualité des lipides. La base des analyses est l'extraction des lipides par l'action de solvant, puis l'identification des lipides par chromatographie en phase gazeuse. La chromatographie en phase gazeuse permet de déterminer la quantité et la qualité des différents acides gras (longueurs, nombre, position et conformation des insaturations).

Les matières grasses brutes sont déterminées habituellement par une extraction incomplète et peu spécifique des lipides. Cette extraction est couramment réalisée avec de l'éther diéthylique anhydre. Cette méthode permet l'extraction des triglycérides (forme majoritaire des lipides), mais aussi de chlorophylle et de xanthophylle. La quantité d'extractifs est ensuite mesurée pour obtenir la valeur de matières grasses brutes. Si l'aliment est extrudé ou enrobé, une hydrolyse acide préalable est nécessaire ⁴.

Pour caractériser la quantité d'insaturations d'une source lipidique, on utilise historiquement l'indice d'iode obtenu par la méthode de Wijs ²¹. Les doubles liaisons des acides gras réagissent avec une solution de monochlorure d'iode (réactif). La quantité restante de réactif est ensuite mesurée par colorimétrie. L'indice d'iode est la masse de diiode ayant réagi. Plus il est important plus le nombre de doubles liaisons des acides gras est grand. Cependant cette méthode, bien que toujours utilisée, ne permet pas de déterminer la position ou la conformation des doubles liaisons des acides gras, ce qui limite son intérêt. Pour déterminer ces informations, il est préférable d'utiliser la chromatographie.

4 La digestion des lipides

4.1 Digestion générale des monogastriques

4.1.1 Digestion préduodénale

La digestion lipidique intervient dans la section haute du tube digestif. Dans certaines espèces comme l'homme ou le rat, elle débute dans la cavité buccale par l'action de la lipase linguale ²². Mais, une grande partie des monogastriques (chien, chat, cheval) n'ont que peu ou pas d'activité lipolytique dans la cavité buccale ²³⁻²⁵.

La partie la plus importante de la digestion préduodénale des lipides s'effectue dans l'estomac. La lipase gastrique est active au pH de l'estomac ²⁶ et effectue une lipolyse partielle d'une partie des triglycérides. La lipolyse est la réaction séparant un acide gras du glycérol. Dans l'estomac une partie des triglycérides sont transformés en diglycérides ou monoglycérides par lipolyse. Les diglycérides ou monoglycérides ainsi formés facilitent l'émulsion des triglycérides. Ce qui est essentiel pour la digestion duodénale ^{27,28}.

4.1.2 Digestion duodénale

Dans le duodénum les lipides, par l'action des sels biliaires, des phospholipides et des mono- et diglycérides, forment des micelles. Cette émulsion des acides gras par les sels biliaires permet une meilleure digestion des lipides. La suppression des sels biliaires avec une méthode de fistulisation entraîne une baisse de la digestibilité des matières grasses ²⁹. Il est important de ne pas réduire le rôle des sels biliaires à celui d'un émulsifiant. Par leur action sur les récepteurs nucléaires farnesoid X, ils sont des acteurs clefs de l'homéostasie glucidique et des lipoprotéines ³⁰.

Les triglycérides sont hydrolysés en 2-monoglycéride et en acides gras libres par la lipase pancréatique (lipolyse). Cependant cette enzyme n'a pas d'affinité pour les sels biliaires. Seule, l'enzyme n'a presque pas d'activité ^{31,32}. La colipase pancréatique est le partenaire physiologique de la lipase. À l'inverse de la lipase, la colipase a une forte affinité pour les sels biliaires et la lipase. Ainsi elle permet d'ancrer la lipase pancréatique aux micelles pour qu'elle conduise la lipolyse.

Concernant le cholestérol, seules les molécules non estérifiées intègrent les micelles. Les cholestérols estérifiés sont éliminés dans les fèces.

4.1.3 Absorption et digestion entérocytaire

L'absorption des lipides dans les entérocytes du jéjunum peut s'effectuer par deux voies : la diffusion passive et l'absorption par des transporteurs. La diffusion passive est reconnue comme étant la voie majoritaire. Cependant les acides gras peuvent aussi être absorbés par les transporteurs CD36. Une fois absorbés, les acides gras sont de nouveau estérifiés à un monoglycérol dans le réticulum endoplasmique des entérocytes pour reformer un triglycéride. Les triglycérides sont ensuite intégrés dans des lipoprotéines de transport les chylomicrons et ceux-ci seront sécrétés dans le chyle. Dans le cas des volailles les lipoprotéines sont sécrétées directement dans les capillaires sanguins menant à la veine porte, on les nomme portomicrons ³³.

Concernant le cholestérol, il est absorbé par diffusion passive et par le transporteur NPC1L1 dans les entérocytes du jéjunum. Ce transporteur est inhibé par l'ézétimibe un hypocholestérolémiant utilisé en médecine humaine. De plus, ce transporteur serait impliqué dans l'absorption de la vitamine K ³⁴. Le cholestérol est lui aussi excrété dans les chylomicrons.

Les sels biliaires sont réabsorbés dans l'iléon.

Le métabolisme des lipides et leur distribution relèvent du cours de biochimie.

4.2 Digestion des ruminants

Nonobstant la digestion ruminale, la digestion des lipides des ruminants est très proche de celle des monogastriques. On peut noter que les ruminants possèdent aussi une lipase linguale ²². Cette partie traitera principalement de la digestion ruminale des lipides et de ses conséquences.

4.2.1 Biotransformation ruminale des lipides

Dans le rumen, les lipides, et plus particulièrement les triglycérides, sont l'objet de nombreuses biotransformations. L'intensité et le type de biotransformation dépendent de la composition microbienne du rumen et de son acidité. De plus le rumen est aussi un lieu de synthèse d'acides gras à partir d'hydrates de carbone³⁵. Nous nous concentrerons sur la synthèse lipidique, la lipolyse et la biohydrogénation.

Contrairement à la lipolyse des triglycérides effectuée par les enzymes des mammifères qui est incomplète et aboutie à la formation de mono- ou diglycérides, la lipolyse par les enzymes bactériennes aboutie le plus souvent à l'obtention d'acide gras libre et de glycérol. De même la dégradation des galactosylcéramides, des lipides complexes de la famille des glycolipides, entraîne la libération d'acides gras et de galactose.

Le glycérol et le galactose sont rapidement fermentés en acides gras volatils, principalement en propionate et butyrate³⁶. De même, le métabolisme fermentaire des bactéries entraîne la d'acide gras volatils à partir de glucides pariétaux ou cytosoliques³⁷. Ces acides gras volatils sont directement absorbés au niveau des parois du rumen. Une partie des acides gras volatils est directement métabolisée par le rumen mais la majorité passe dans la circulation sanguine. Les acides gras volatils sont la source énergétique majoritaire des ruminants. Ils couvriraient entre 60 et 80% du besoin énergétique des ruminants³⁸. Enfin, des acides gras plus longs peuvent être synthétisés par la flore ruminale à partir des acides gras volatils. Ainsi, chez les ruminants la quantité d'acide gras à la sortie du rumen peut être supérieure à celle de la ration.

La production d'acides gras volatils peut aussi s'effectuer dans le caecum et le colon des monogastriques.

La biohydrogénation conduit à des modifications de l'isomérisation et du nombre d'insaturation des acides gras insaturés. Les produits de ces transformations peuvent, soit être absorbés par le ruminant, soit continuer à être modifiés par la flore digestive. Nous prendrons pour exemple l'acide linoléique. Dans le cadre d'un fonctionnement optimal du rumen la double liaison *cis* du carbone $\alpha 12$ de l'acide linoléique est remplacée par une double liaison *trans* en $\alpha 11$. Ce composé est l'acide ruménique, il fait partie des conjugués de l'acide linoléique (CLA) et se retrouve dans le lait. La double liaison *cis* en $\alpha 9$ est hydrogénée donnant ainsi naissance à l'acide *trans* vaccénique. Enfin, la double liaison *trans* restante est à son tour hydrogénée pour donner l'acide stéarique.

4.2.2 La chute de taux butyreux

Le syndrome de chute du taux butyreux est souvent lié à une acidose, mais il peut aussi être dû à un apport trop important en acide linoléique³⁹. En effet, bien que dans un état physiologique la biohydrogénation de l'acide linoléique conduit à la formation d'acide ruménique, si l'acide linoléique est présent en trop grande quantité un autre conjugué de l'acide linoléique est synthétisé. Or ce dernier est un inhibiteur de la synthèse mammaire des acides gras du lait par

son action sur le régulateur nucléaire SERBP1. De plus l'acidose ruminale favorise aussi cette voie de synthèse.

En conclusion l'augmentation des acides gras insaturés ou un apport trop élevé en matières grasses (qui peut conduire à une acidose) peuvent entraîner une baisse du taux butyreux du lait. Pour limiter le risque d'acidose et apporter plus de matières grasses, il est possible d'utiliser des matières grasses protégées.

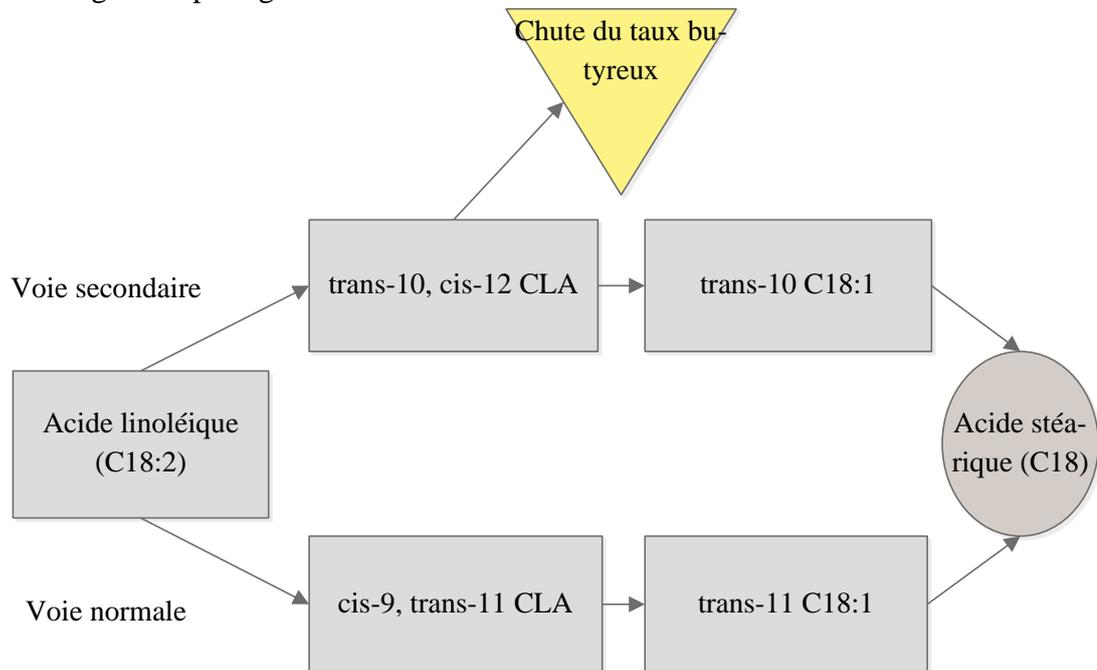


Figure 3: Schéma des biotransformations de l'acide linoléique et

5 Importance des lipides en nutrition

5.1 Rôle énergétique

Les lipides sont la base du stockage énergétique des mammifères. Ils sont aussi une source importante d'énergie alimentaire, 1g de lipide équivaut à 9kcal d'énergie métabolisable. Ce sont les nutriments les plus denses énergétiquement.

Le catabolisme énergétique des lipides s'effectue au niveau des mitochondries. Ce catabolisme nécessite un acide aminé la L-carnitine pour transporter les molécules dans les mitochondries.

5.2 Acides gras essentiels

5.2.1 Base de la biochimie des omega-6 et omega-3

Comme indiqué plus haut, certains acides gras de la famille des omega-3 et 6 sont classé dans les nutriments essentiels de nombreuse espèce. En effet, les mammifères n'ont pas la capacité d'en produire en quantité suffisante pour couvrir leurs besoins. Ils doivent trouver ces acides gras dans leur alimentation. Les plantes ont la capacité de synthétiser ces acides gras. Dans les plantes, les omega-6 et les omega-3 se trouvent respectivement sous forme d'acide linoléique et α -linoléique principalement. À partir de ces acides gras, la plupart des mammifères sont capables de les allonger pour former des acides gras à chaîne longue : l'acide arachidonique, l'acide eicosapentaénoïque et l'acide docosahexaénoïque (**Figure 3**)⁴⁰.



Figure 4 : Voies de synthèse des omega-3 et des oméga-6

Pendant dans le cas des félins, leur enzyme $\Delta 6$ -désaturase est beaucoup moins efficace⁴¹. Ainsi, en dehors du chat adulte sain, où le peu de synthèse d'acides gras à chaîne longue est

suffisant, il est nécessaire d'assurer une source alimentaire en acide arachidonique et en acide eicosapentaénoïque pour le chat.

On considérera que chez le chien seuls l'acide linoléique et l'acide α -linoléique sont strictement essentiels. Alors que pour le chat on y ajoute l'acide arachidonique, l'acide eicosapentaénoïque et l'acide docosahexaénoïque.

5.2.2 Rôles physiologiques des omega-6 et omega-3

Les acides gras à chaîne longue omega-3 et omega-6 sont présents dans les lipides membranaires. En raison de leur taille et de leurs doubles liaisons, ils y assurent la fluidité membranaire. Les membranes des cellules rétinienne et nerveuses sont riches en acide docosahexaénoïque (plus de 50% des acides gras de ces membranes) ^{8,42}.

Les omega-3 et 6 à plus de 20 carbones contenus dans les membranes cellulaires sont les substrats des cyclo-oxygénases et lipoxygénases. Celles-ci synthétisent les eicosanoïdes. Les eicosanoïdes sont des dérivés d'acides gras polyinsaturés ayant souvent un rôle hormonal. Trois grandes familles d'eicosanoïdes sont décrites les leucotriènes, les prostaglandines et les thromboxanes. Elles ont des rôles dans l'inflammation, la reproduction et la coagulation.

Concernant les eicosanoïdes inflammatoires, elles peuvent être synthétisées à partir des omega-3 comme des omega-6. Cependant, les omega-6 sont précurseur de molécules pro-inflammatoires, alors que les molécules dérivées des omega-3 sont peu pro-inflammatoires et certaines sont même anti-inflammatoires. Il peut être intéressant de moduler le rapport entre omega-6 et omega-3 dans la prise en charge des affections inflammatoires telle l'arthrose ⁴³.

Les acides gras polyinsaturés sont aussi impliqués dans la beauté du pelage ⁴ et la perméabilité de la peau. Notamment l'acide linoléique qui entre dans la composition des céramides.

5.2.3 Rôles dans l'industrie agroalimentaire

Les acides gras polyinsaturés, en raison de leurs impacts sur la santé humaine, sont l'objet de nombreuses campagnes publicitaires. Bien que les animaux de production ne sont que rarement l'objet de carences en acides gras polyinsaturés, certains fournisseurs d'aliment les supplémentent en source d'omega-3 et 6 dans le but d'augmenter la teneur des productions animales en ces mêmes acides gras.

Si cette technique permet bien d'augmenter la teneur en omega-3 et 6 des productions des monogastriques ^{5,6}, les modifications ruminales rendent son application plus difficile avec les polygastriques. Enfin, il est difficile de déterminer si ces légères modifications ont un réel impact sur la santé humaine.

6 Besoins en lipides et digestibilité

Nous avons vu dans la partie précédente que les lipides occupent des rôles importants dans la physiologie, en conséquence, une quantité minimale de lipides est nécessaire. Pour que ces lipides assurent leur rôle physiologique, ils doivent pouvoir être digérés. Dans cette partie, le

besoin en lipides totaux, en acides gras essentiels ainsi que la digestibilité des lipides sont abordés.

6.1 Besoin en lipides totaux

Les lipides, de façon générale, assurent un rôle énergétique. Une quantité minimale de lipides est souhaitable pour assurer une bonne densité énergétique de la ration, mais aussi pour faciliter la digestion des vitamines liposolubles⁴⁴. Ainsi, il est recommandé d'apporter au moins 5,5%^{4,45} de la matière sèche en lipide chez le chien et au moins 9%^{4,45} chez le chat. Si les lipides sont donnés dans des quantités proches des minimums, il est nécessaire qu'ils soient fortement digestibles et riches en acides gras essentiels. Si ces conditions ne sont pas remplies, l'animal pourrait présenter des signes de carences en lipides, se manifestant principalement par un pelage rugueux, un assèchement de la peau et une sensibilité accrue aux pyodermites⁴⁶. Le chien et le chat supportent assez bien les rations riches en lipides⁴. Cependant, une ration trop riche en lipides limite la quantité de protéines, ce qui peut entraîner des carences en acides aminés et limite, par conséquent, le taux en lipides recommandé dans l'aliment. De plus, il est à noter que si la quantité de lipides est plus importante que la capacité digestive de l'animal cela conduit à une stéatorrhée⁴⁵. Enfin, plus l'apport en acides gras polyinsaturés est important plus le besoin en vitamine E est élevé (la vitamine E protège les acides gras de la dénaturation, mais est détruite lors du procédé⁴⁵). Un déficit en vitamine E a été décrit chez des chiens de chasse nourris avec un fort taux de lipide⁴⁷.

Pour les bovins, la teneur en lipides recommandée est comprise entre 3 et 5%⁴⁸, la valeur supérieure s'explique par les désordres ruminiaux pouvant suivre un taux de lipides trop important dans la ration, voir plus haut.

6.2 Besoin en Acides gras essentiels

Afin d'assurer les rôles décrits dans le point 5, il est nécessaire d'apporter les acides gras essentiels en quantité suffisante. Ces apports recommandés (**Tableau III**) sont dépendant de l'espèce considérée et de son stade physiologique. Il est à noter que si certains acides gras ne sont pas strictement essentiels (comme l'acide eicosapentaénoïque chez le chien), un apport minimal est conseillé afin d'assurer un apport optimal.

Tableau III: Besoin en acides gras essentiels chez le chien, le chat et les porcins^{4,16}

Acides gras (% de MS)	Chien	Chiot	Chat	Chatton	Porcin
Linoléique	1,1	1,3	0,55	0,55	0,1
Arachidonique	-	0,03	0,006	0,02	-
α -Linoléique	0,044	0,08	-	0,02	-
Eicosapentaénoïque/décosaénoïque	0,044	0,05	0,01	0,01	-

Quand les apports en acides gras essentiels (polyinsaturés) sont trop importants par rapport à l'apport en antioxydants, l'animal peut présenter une stéatite, ou maladie de la graisse jaune. Cette affection est la conséquence de la dénaturation des lipides à l'intérieur des cellules de l'animal.

6.3 Facteurs influençant la digestibilité des lipides

La digestibilité des lipides est influencée par de nombreux facteurs pouvant dépendre de l'animal ou l'aliment lui-même. Premièrement, l'espèce joue un grand rôle dans la digestibilité, ainsi la digestibilité apparente des lipides sera comprise entre 85 et 95% chez le chien⁴, entre 80 et 95% chez les porcins¹⁶ et entre 70 et 85 % pour les bovins¹⁰. Ces données pour les bovins sont à mettre en regard de la création de lipides dans le rumen qui fait baisser la digestibilité apparente. En effet, à l'entrée de l'intestin des ruminants il y a plus de lipides que ce qui a été ingéré par l'animal. De même la digestibilité des lipides peut évoluer avec l'âge, chez le chat elle est plus faible chez les chats âgés par rapport aux chats adultes^{49,50}.

Concernant les différences de digestibilités dues à l'aliment, bon exemple est celui du chat, dont la digestibilité des lipides varie de 90% pour un aliment avec une concentration en lipide de 10% de matière sèche à 99% pour un aliment avec une concentration de 25%⁵¹. De plus, la composition en acide gras des lipides a aussi son rôle dans la digestibilité. En effet, les acides gras sont plus digestibles lorsqu'ils sont courts ou insaturés⁴⁹.

7 Conclusion

Les lipides sont des molécules d'une grande diversité et essentielles au fonctionnement des organismes, par le fait qu'ils sont des sources concentrées en énergie, des éléments de base de la paroi cellulaire et des précurseurs de nombreuses hormones (notamment immunitaire). Ce sont aussi des composés fragiles, sensibles aux dénaturations et dont la conservation est un élément clef pour préserver leurs propriétés nutritionnelles, celles de l'aliment et éviter la formation de composés toxiques ou cancérogènes.

8 Bibliographie

1. Gillingham, L. G., Harris-Janz, S. & Jones, P. J. H. Dietary Monounsaturated Fatty Acids Are Protective Against Metabolic Syndrome and Cardiovascular Disease Risk Factors. *Lipids* **46**, 209–228 (2011).
2. Kris-Etherton, P. M. & Committee, for the N. Monounsaturated Fatty Acids and Risk of Cardiovascular Disease. *Circulation* **100**, 1253–1258 (1999).

3. Mente A, de Koning L, Shannon HS & Anand SS. A systematic review of the evidence supporting a causal link between dietary factors and coronary heart disease. *Arch. Intern. Med.* **169**, 659–669 (2009).
4. National Research Council. *Nutrient Requirements of Dogs and Cats.* (2006).
5. Kellner, T. A., Prusa, K. J. & Patience, J. F. Impact of dietary fat source and concentration and daily fatty acid intake on the composition of carcass fat and iodine value sampled in three regions of the pork carcass. *J. Anim. Sci.* **92**, 5485–5495 (2014).
6. Prieto, N. *et al.* Predicting fat quality from pigs fed reduced-oil corn dried distillers grains with solubles by near infrared reflectance spectroscopy: Fatty acid composition and iodine value. *Meat Sci.* **98**, 585–590 (2014).
7. Campbell, K. L., Uhland, C. F. & Dorn, G. P. Effects of Oral Sunflower Oil on Serum and Cutaneous Fatty Acid Concentration Profiles in Seborrheic Dogs. *Vet. Dermatol.* **3**, 29–35 (1992).
8. Pawlosky, R. J., Denkins, Y., Ward, G. & Salem, N. Retinal and brain accretion of long-chain polyunsaturated fatty acids in developing felines: the effects of corn oil-based maternal diets. *Am. J. Clin. Nutr.* **65**, 465–472 (1997).
9. Mráz, J. & Pickova, J. Factors influencing fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio*) muscle. *Neuro Endocrinol. Lett.* **32 Suppl 2**, 3–8 (2011).
10. McDonald, P. *et al.* Animal nutrition. *Anim. Nutr.* 365 (2011).
11. Serra, A. *et al.* Fatty acid composition, oxidation status and volatile organic compounds in ‘Cottonata’ lard from Large White or Cinta Senese pigs as affected by curing time. *Meat Sci.* **97**, 504–512 (2014).
12. Kamal-Eldin, A. & Appelqvist, L.-A. Aldehydic acids in frying oils : Formation, toxicological significance and analysis. *Grasas Aceites* **47**, 342–348 (1996).

13. Akoh, C. C. & Min, D. B. *Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology, Second Edition*. (CRC Press, 2002).
14. Lignert, H. *et al.* Acrylamide in food: mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Food Nutr. Res.* **46**, 159–172 (2002).
15. Capuano, E., Oliviero, T., Açar, Ö. Ç., Gökmen, V. & Fogliano, V. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Res. Int.* **43**, 1021–1026 (2010).
16. Lewis, A. J. & Southern, L. L. *Swine Nutrition, Second Edition*. (CRC Press, 2000).
17. Tavárez, M. A. *et al.* Effect of antioxidant inclusion and oil quality on broiler performance, meat quality, and lipid oxidation. *Poult. Sci.* **90**, 922–930 (2011).
18. Dutton, H. J. Hydrogenation of fats. *Prog. Chem. Fats Other Lipids* **9**, 349–375 (1971).
19. Dasilva, G. *et al.* Healthy effect of different proportions of marine ω -3 PUFAs EPA and DHA supplementation in Wistar rats: Lipidomic biomarkers of oxidative stress and inflammation. *J. Nutr. Biochem.* **26**, 1385–1392 (2015).
20. Mensink, R. P. & Katan, M. B. Effect of Dietary trans Fatty Acids on High-Density and Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels in Healthy Subjects. *N. Engl. J. Med.* **323**, 439–445 (1990).
21. Thomas, A., Matthäus, B. & Fiebig, H.-J. in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000).
22. Nelson, J. H., Jensen, R. G. & Pitas, R. E. Pregastric Esterase and other Oral Lipases—A Review. *J. Dairy Sci.* **60**, 327–362 (1977).
23. Knospe, C. & Plendl, J. Histochemical Demonstration of Lipase Activity in the Gastric Mucosa of the Cat. *Anat. Histol. Embryol.* **26**, 303–304 (1997).

24. Iverson, S. J., Kirk, C. L., Hamosh, M. & Newsome, J. Milk lipid digestion in the neonatal dog: the combined actions of gastric and bile salt stimulated lipases. *Biochim. Biophys. Acta BBA - Lipids Lipid Metab.* **1083**, 109–119 (1991).
25. *Equine applied and clinical nutrition: health, welfare and performance.* (Saunders, 2013).
26. Gargouri, Y., Pieroni, G., Lowe, P. A., Sarda, L. & Verger, R. Human gastric lipase. *Eur. J. Biochem.* **156**, 305–310 (1986).
27. M C Carey, D M Small & Bliss, and C. M. Lipid Digestion and Absorption. *Annu. Rev. Physiol.* **45**, 651–677 (1983).
28. Hamosh, M., Klaeveman, H. L., Wolf, R. O. & Scow, R. O. Pharyngeal lipase and digestion of dietary triglyceride in man. *J. Clin. Invest.* **55**, 908–913 (1975).
29. Porter, H. P., Saunders, D. R., Tytgat, G., Brunser, O. & Rubin, C. E. Fat absorption in bile fistula man. A morphological and biochemical study. *Gastroenterology* **60**, 1008–1019 (1971).
30. Lefebvre, P., Cariou, B., Lien, F., Kuipers, F. & Staels, B. Role of Bile Acids and Bile Acid Receptors in Metabolic Regulation. *Physiol. Rev.* **89**, 147–191 (2009).
31. Lowe, M. Molecular Mechanisms of Dietary Fat Digestion by Pancreatic Lipases. *Grantome*
32. Lowe, M. E. Molecular Mechanisms of Rat and Human Pancreatic Triglyceride Lipases. *J. Nutr.* **127**, 549–557 (1997).
33. Sato, K., Suzuki, K. & Akiba, Y. Characterization of Chicken Portomicron Remnant and Very Low Density Lipoprotein Remnant. *J. Poult. Sci.* **46**, 35–39 (2009).
34. Takada, T. *et al.* NPC1L1 is a key regulator of intestinal vitamin K absorption and a modulator of warfarin therapy.
35. Cuvelier, C., Cabaraux, J.-F., Dufresne, I., Istasse, L. & Hornick, J.-L. Production, digestion et absorption des acides gras chez le ruminant. *Ann. Médecine Vét.* 49–59 (2005).

36. Jouany, J. P. *Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestion*. (Editions Quae, 1991).
37. Clomburg, J. M. & Gonzalez, R. Anaerobic fermentation of glycerol: a platform for renewable fuels and chemicals. *Trends Biotechnol.* **31**, 20–28 (2013).
38. Russell, R. W. & Gahr, S. A. Glucose availability and associated metabolism. 121–147 (2000).
doi:10.1079/9780851993782.0121
39. Jenkins, T. C. & Harvatine, K. J. Lipid Feeding and Milk Fat Depression. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* **30**, 623–642 (2014).
40. Wiktorowska-Owczarek, A., Berezińska, M. & Nowak, J. PUFAs: Structures, Metabolism and Functions. *Adv. Clin. Exp. Med.* **24**, 931–941 (2015).
41. Rivers, J. P. W., Sinclair, A. J. & Crawford, M. A. Inability of the cat to desaturate essential fatty acids. *Nature* **258**, 171–173 (1975).
42. Fliesler, A. J. & Anderson, R. E. Chemistry and metabolism of lipids in the vertebrate retina. *Prog. Lipid Res.* **22**, 79–131 (1983).
43. Scientific Presentation Abstracts. *Vet. Surg.* **34**, E1–E21 (2005).
44. Gijsbers, B. L., Jie, K. S. & Vermeer, C. Effect of food composition on vitamin K absorption in human volunteers. *Br. J. Nutr.* **76**, 223–229 (1996).
45. Case, L. P., Daristotle, L., Hayek, M. G. & Raasch, M. F. in *Canine and Feline Nutrition (THIRD EDITION)* 81–88 (Mosby, 2011).
46. Gross, K. in *Small animal clinical nutrition* (Hand, 2010).
47. Davidson, M. G., Geoly, F. J., Gilger, B. C., McLellan, G. J. & Whitley, W. Retinal degeneration associated with vitamin E deficiency in hunting dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **213**, 645–651 (1998).

48. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001*. (National Academies Press, 2001).
49. Peachey, S. E., Dawson, J. M. & Harper, E. J. The effect of ageing on nutrient digestibility by cats fed beef tallow-, sunflower oil- or olive oil-enriched diets. *Growth Dev. Aging GDA* **63**, 61–70 (1999).
50. Salas, A. *et al.* Fat digestibility is reduced in old cats with subnormal cobalamin concentrations. *J. Nutr. Sci.* **3**, (2014).
51. Kane, E., Morris, J. G. & Rogers, Q. R. Acceptability and digestibility by adult cats of diets made with various sources and levels of fat. *J. Anim. Sci.* **53**, 1516–1523 (1981).