

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 31 janvier 2025

NOTE
d'appui scientifique et technique
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à la dangerosité liée à l'oxydation des graisses de palmipèdes ne respectant pas les dispositions du règlement (CE) n°853/2004, annexe III, section XII

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été saisie le 23 juin 2023 par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) pour la réalisation d'un appui scientifique et technique relatif à l'évaluation de la dangerosité liée à l'oxydation des graisses destinées à l'alimentation humaine ne respectant pas les dispositions du règlement (CE) n°853/2004, annexe III, section XII.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE

1.1. Contexte

Le contexte figurant dans le courrier de saisine est le suivant :

« Les exploitants du secteur alimentaire qui préparent des graisses animales fondues sont soumis au respect des dispositions du règlement (CE) n°853/2004, annexe III, section XII (graisses animales fondues et cretons).

D'après son chapitre II-4) : « les graisses animales fondues, selon leur type, doivent respecter les normes reproduites ci-après », incluant notamment des critères en matière d'indice de peroxyde (« peroxyde maximal ») :

- 4) les graisses animales fondues, selon leur type, doivent respecter les normes reproduites ci-après:

	Ruminants			Porcins			Autres graisses animales	
	Suif comestible		Suif à raffiner	Graisses comestibles		Saindoux et autres graisses à raffiner	Comestibles	À raffiner
	Premier jus (¹)	Autres		Saindoux (²)	Autres			
FFA (m/m % acide oléique) maximal	0,75	1,25	3,0	0,75	1,25	2,0	1,25	3,0
Peroxyde maximal	4 meq/kg	4 meq/kg	6 meq/kg	4 meq/kg	4 meq/kg	6 meq/kg	4 meq/kg	10 meq/kg
Impuretés insolubles totales	Maximum 0,15 %			Maximum 0,5 %				
Odeur, goût, couleur	Normal							

(¹) Graisses animales fondues obtenues par la fonte à basse température de graisses fraîches du cœur, de la crépine, des reins et du mésentère des bovins, et graisses provenant des ateliers de découpe.

(²) Graisses animales fondues obtenues à partir des tissus adipeux des porcins.

Ainsi, l'indice de peroxyde des graisses consommables (sans nécessité de raffinage) ne doit pas dépasser 4 meq/kg et l'indice de peroxyde des graisses devant être raffinées avant de pouvoir être destinées à la consommation humaine ne doit pas dépasser 10 meq/kg.

Parallèlement, deux normes du *Codex Alimentarius* retenues au niveau international mentionnent l'indice de peroxyde comme un facteur de qualité des graisses :

- Norme pour les graisses et les huiles comestibles non visées par des normes individuelles (CXS 19-1981) révisée en 2021 :
 - Indice de peroxyde : Autres graisses et huiles : jusqu'à 10 meq d'oxygène actif/kg d'huile ;
- Norme pour les graisses animales portant un nom spécifique (CXS 211-1999) révisée en 2021 :
 - indice de peroxyde : jusqu'à 10 meq. d'oxygène actif/kg de graisse.

Or des résultats dépassant ces seuils sont périodiquement signalés à la DGAL (une alerte en 2018 et un autre alerte en 2023).

Cependant, il n'a pas été identifié de source bibliographique permettant de qualifier de dangereuses, au sens de l'article 14 du règlement (CE) n°178/2002, les graisses faisant l'objet d'un indice de peroxyde dépassant ces seuils ou ne respectant pas les normes du règlement (CE) n°853/2004 (annexe III, section XII) ».

En complément du texte de la saisine, la DGAL a transmis à l'Anses :

- le 26 août 2023 : le compte rendu d'audit relatif à un contrôle de maîtrise d'oxydation réalisé le 25 avril 2023 par l'ITERG (Institut des Corps Gras et produits apparentés) ;
- le 19 octobre 2023 : cinq bulletins d'analyse d'indice de peroxyde de graisses de palmipèdes, cinq bulletins d'analyse de l'acidité de graisses de palmipèdes et cinq bulletins d'analyse de composés polaires de graisses de palmipèdes.

1.2. Objet de la demande

Après échanges avec la DGAL, il est demandé à l'Anses de réaliser une étude bibliographique portant sur l'oxydation des graisses de palmipèdes visant à identifier les potentiels dangers, et le cas échéant des éléments d'information sur ces dangers, suite à la consommation de graisses de palmipèdes ne respectant pas les normes définies dans la section XII de l'annexe III du règlement (CE) n°853/2004.

2. ORGANISATION DES TRAVAUX

2.1 Organisation de l'expertise

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (janvier 2024) ».

L'Anses a confié l'analyse à trois rapporteurs, dont l'un est membre du Comité d'Experts Spécialisé « Évaluation des Risques physico-Chimiques dans les Aliments » (CES ERCA), un deuxième fait partie du Groupe de travail « Évaluation des matériaux et auxiliaires technologiques dans le domaine de l'alimentation et de l'eau » (GT MATAE) et le troisième rapporteur est membre des deux collectifs.

Les travaux ont été présentés au CES ERCA pour consultation sur les aspects méthodologiques et scientifiques le 11 juillet 2024 et le 12 décembre 2024.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2.2. Organisation de la recherche bibliographique

Une revue systématique de la littérature a été menée afin d'identifier les potentiels dangers par voie orale associés à l'oxydation de graisses de palmipèdes (graisses de canard et d'oie, voir Figure 1 pour le diagramme de flux).

Deux bases de données ont été consultées : Scopus et Pubmed. La revue systématique de la littérature a été réalisée, en utilisant les critères d'inclusions et d'exclusion cités dans l'annexe 1, entre le 15 mai 2024 et le 11 juin 2024. Seuls les articles en français ou en anglais ont été sélectionnés (à l'exception d'un article pertinent en chinois traduit à l'aide d'un outil de traduction en ligne). La recherche a été réalisée sans restriction géographique ni temporelle. Les mots clés utilisés pour la recherche, ainsi que les critères d'inclusion/exclusion, sont présentés en annexe 1.

Une sélection a ensuite été réalisée en fonction de la période de publication. Les experts ont estimé que les données antérieures à 1998 ne seraient pas informatives.

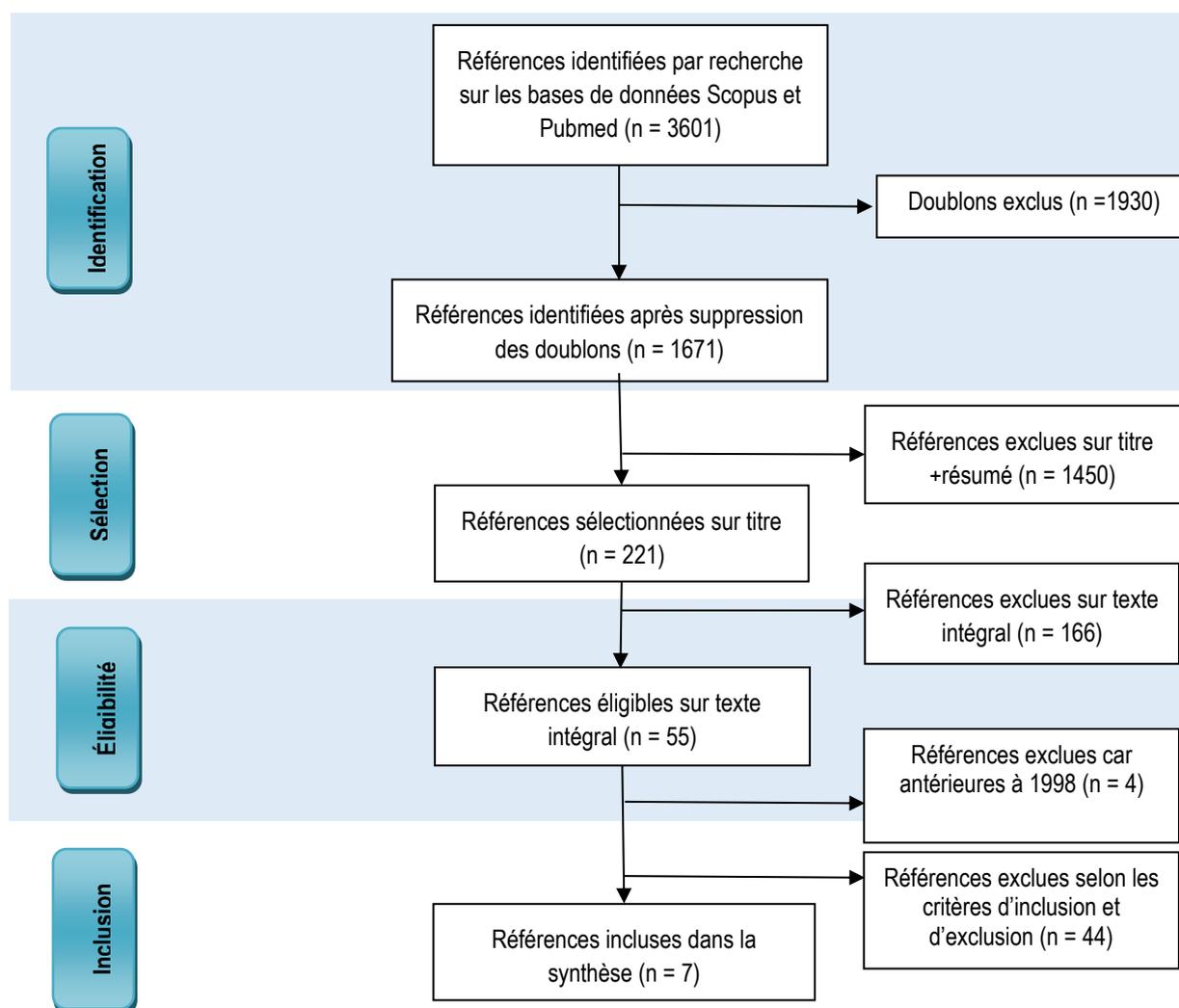


Figure 1 : Diagramme de flux relatif à la recherche bibliographique visant à identifier les potentiels dangers associés à l'oxydation de graisses de palmipèdes (graisses de canard et d'oie).

En plus de cette recherche, des informations bibliographiques complémentaires ont été recherchées concernant la composition des graisses de canard et d'oie, les mécanismes d'oxydation de ces graisses, les méthodes analytiques permettant de déterminer la présence des produits d'oxydation et des éléments d'information quant à la dangerosité de ces produits d'oxydation identifiés. Ces informations n'avaient pas été identifiées par la revue systématique. Le nombre de références analysées est de 31.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS

Afin de répondre à la saisine, les travaux des rapporteurs ont été organisés selon les thèmes suivants :

- Composition générale des huiles et graisses alimentaires et nomenclature des acides gras ;
- Composition des graisses de palmipèdes et leurs particularités par rapport aux graisses bovines et porcines ;
- Mécanismes d'oxydation des acides gras ;
- Méthodes d'analyse de l'oxydation des graisses, incluant la formation de peroxydes et de produits secondaires d'oxydation ;
- Analyse critique des bulletins d'analyse transmis par la DGAL comme étant non conformes ;
- Impact des procédés de préparation des graisses de palmipèdes destinées à la consommation humaine sur l'oxydation de leurs acides gras ;
- Analyse de la revue systématique de la littérature sur les substances issues de l'oxydation des graisses de palmipèdes.

3.1. Composition générale des huiles et graisses alimentaires et nomenclature des acides gras

De manière générale, les huiles et graisses alimentaires sont constituées principalement de triacylglycérols, c'est-à-dire un squelette de glycérol, dans lequel les trois groupements OH sont substitués par des acides gras (chaîne hydrocarbonée pouvant aller jusqu'à 24 carbones, comprenant un groupement acide COOH en bout de chaîne) (Figure 2).

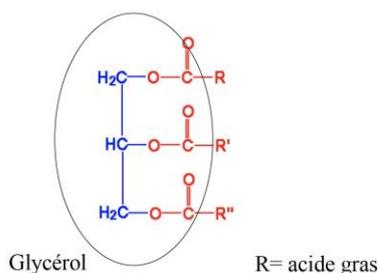


Figure 2 : Structure chimique des triacylglycérols (R' et R'' sont aussi des acides gras).

Parmi les acides gras, on trouve les acides gras saturés (AGS) et les acides gras insaturés (AGI) qui comprennent les acides gras monoinsaturés (AGMI) et les acides gras polyinsaturés (AGPI). Les acides gras dits « saturés » ne contiennent aucune double liaison entre carbones, par exemple l'acide palmitique. Les acides gras monoinsaturés contiennent une seule double liaison entre carbones et les acides gras polyinsaturés présentent deux doubles liaisons ou plus.

Pour désigner les acides gras, on utilise le nombre de carbones, le nombre de doubles liaisons ainsi que la position de la première double liaison par rapport au carbone qui se trouve en bout de chaîne, du côté opposé au groupement acide. En biochimie, ce carbone est appelé « oméga » de symbole ω . Pour l'acide palmitique par exemple, qui contient 16 carbones et

aucune double liaison, ce sera C16:0. L'acide éicosapentaénoïque (EPA) s'écrit C20:5, ω 3 ou encore C20:5 n-3 (20 carbones, 5 doubles liaisons, dont la première double liaison est sur le 3^{ème} carbone à partir du côté opposé au groupement COOH). La nomenclature « n-x » est équivalente à « ω x ».

La figure 3 montre la structure chimique de l'acide linoléique (C18:2 ω 6). Cette figure permet également d'illustrer la nomenclature utilisée en chimie qui spécifie sur quel carbone se situe la ou les doubles liaisons, en comptant à partir du groupement COOH. L'acide linoléique contient 2 doubles liaisons sur les carbones en position 9 et 12 à partir du groupement COOH, il sera appelé C18:2 Δ 9 Δ 12 ω . Dans la suite du texte, c'est la nomenclature biochimique qui est utilisée.

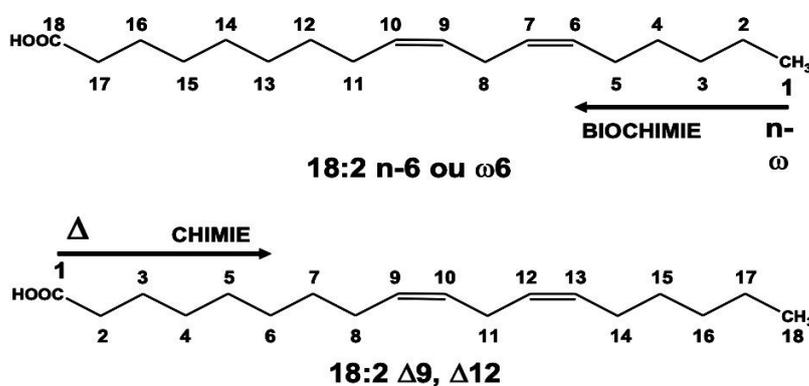


Figure 3 : Structure chimique et nomenclature utilisée pour désigner les acides gras, illustrés pour l'acide linoléique (Anses 2011).

Il est à noter que les AGPI C18:2 ω 6 (acide linoléique) et C18:3 ω 3 (acide alpha-linolénique) sont des acides gras essentiels, c'est-à-dire indispensables pour la croissance et les fonctions physiologiques chez l'Homme. Ils ne sont pas synthétisables par l'Homme et doivent être apportés par l'alimentation.

En raison des doubles liaisons dans leur chaîne hydrocarbonée, les AGPI sont très sensibles à l'oxydation, favorisée par différents facteurs tels que l'oxygène et la chaleur. Ils auront donc tendance à se dégrader s'ils sont soumis à des conditions favorables à l'oxydation entraînant la formation de produits primaires et secondaires d'oxydation (voir section 3.3). Les AGMI sont moins sensibles à l'oxydation et les AGS sont considérés comme beaucoup plus stables (CSS, 2011).

En résumé, les acides gras peuvent être divisés en deux grandes catégories : les AGS et les AGI. Cette dernière peut être encore divisée en deux sous-catégories : AGMI et AGPI.

3.2. Composition des graisses de palmipèdes et particularités par rapport aux graisses bovines et porcines

Les huiles d'origine végétale sont liquides à température ambiante et leurs propriétés physiques, chimiques et nutritionnelles dépendent fortement du type d'acides gras présents. En revanche, les graisses comestibles d'origine animale (par exemple, bœuf, porc et mouton) sont généralement solides à température ambiante. Les graisses végétales et les graisses

animales alimentaires sont des « matières grasses concrètes à la température de 15°C vendues à l'état pur » (Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, spécification technique n° E5 -05 du 8 décembre 2005). Il est important de noter qu'à partir de 15°C, ces graisses deviennent liquides et sont alors appelées huiles. De manière générale, les graisses, comme les huiles, sont essentiellement constituées de triacylglycérols (99%), le 1% restant se compose de phospholipides, de lipides complexes, de constituants non triacylglycérols comme la vitamine E (tocophérol, sauf dans les graisses animales), les stérols (cholestérol ou phytostérols), et les phénols.

Plus spécifiquement, en France, la spécification technique n° E5 -05 du 8 décembre 2005 applicable aux graisses végétales et/ou animales alimentaires, indique qu'une composition typique pour la graisse de canard est de 33,5% d'acides gras saturés (AGS), 50,5% d'acides gras monoinsaturés (AGMI), 16% d'acides gras polyinsaturés (AGPI), dont 15% d'acide linoléique (C18:2, ω 6) et 1% d'acide alpha-linolénique (C18:3, ω 3). Une composition typique pour la graisse d'oie est de 31% d'AGS, 58% d'AGMI et 11% d'AGPI (dont 1% d'acide alpha-linolénique et 10% d'acide linoléique).

Dans la table de composition nutritionnelle des aliments CIQUAL (<https://ciqual.anses.fr/>; 2020), la nature des AGMI et AGPI n'est pas très détaillée pour les graisses de canard et d'oie. Pour les deux types de graisse, les AGPI à longue chaîne EPA (acide eicosapentaénoïque, C20:5 ω 3) et DHA (acide docosahexaénoïque, C22:6 ω 3) n'ont pas été retrouvés dans les analyses réalisées. Dans la même table, la graisse d'oie présente la composition suivante : 22,7% d'AGS (avec un taux de 20,7% d'acide palmitique), 56,7% d'AGMI et 11% d'AGPI.

Le tableau 1 montre que, contrairement à de nombreuses graisses et huiles végétales insaturées où l'acide linoléique (C18:2 ω 6) est l'acide gras prédominant, l'acide oléique (C18:1 ω 9) est le principal acide gras dans la graisse de canard et dans la graisse d'oie. Bien que la graisse de canard soit plus sujette à l'oxydation que d'autres graisses animales, elle présente une stabilité oxydative supérieure à celle des huiles végétales riches en acide alpha-linolénique (C18:3 ω 3), en raison de sa forte teneur en C18:1 (Shin et al., 2023).

L'alimentation animale influe sur le profil en acides gras de la graisse de canard et d'oie. Comme pour d'autres animaux, leur alimentation influence la composition de leur graisse corporelle, y compris les acides gras qu'elle contient (Banaszak et al., 2020 ; Shin et al., 2023). Ces palmipèdes sont omnivores et consomment des graines, des insectes, des plantes aquatiques et de petits animaux. Des recherches ont montré que lorsque les canards consomment des acides gras oméga-3 provenant de sources telles que l'huile de poisson, leurs teneurs en AGPI comme l'EPA et le DHA augmentent (Chen et al., 2017 ; Shin et al., 2023).

La graisse d'oie contient également une grande quantité d'acides gras insaturés, notamment l'acide oléique (C 18:1), l'acide linoléique (C 18:2) et l'acide linoléique (C 18:3), qui sont des produits de la désaturation enzymatique de l'acide stéarique (C 18:0). Parmi les AGMI, l'acide oléique (C18:1 ω 9) est le plus abondant et l'acide linoléique (C18:2 ω 6) est le principal AGPI trouvé dans la graisse d'oie.

A la différence des graisses animales comme le suif et le saindoux qui sont très riches en AGS (35 %), la graisse de canard contient un taux légèrement plus faible en AGS (29 %) et un taux élevé d'acides gras insaturés (65 %), l'acide oléique étant l'acide gras prédominant (49 %) (Shin et al., 2019). L'étude de Li et al. (2024) se focalise sur la composition en acides gras de différentes espèces de canard à croissance plus ou moins rapide où les résultats montrent

que les acides oléique, palmitique et linoléique représentent, à eux trois, plus de 80% des acides gras totaux. A titre de comparaison, les acides gras contenus dans les graisses de porc, de bœuf et de poulet ont également été reportés dans le tableau 1.

Parmi les acides gras contenus dans la graisse de canard et d'oie, ce sont les AGI qui prédominent, avec environ 50% d'AGMI et 15% d'AGPI. En effet, bien que la graisse de canard soit plus sujette à l'oxydation que d'autres graisses animales, elle présente en revanche une stabilité oxydative supérieure à celle des huiles végétales riches en acide alpha-linoléique (C18:3 ω 3), en raison de sa forte teneur en C18:1.

Tableau 1 : Composition en acides gras des graisses de canard, d'oie, de poulet, de porc et de bœuf (% des acides gras totaux). Seuls les acides gras rapportés comme présents à un niveau d'au moins 1% des acides gras totaux sont indiqués.

			Shin et al., 2023				Table Ciqual * 2020		Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, spécification technique n° E5 -05 du 8 décembre 2005	
Origine géographique des données			Chine				USA		France	
	Nom	Acides gras	Graisse de canard	Graisse de porc	Graisse de bœuf	Graisse de poulet	Graisse de canard	Graisse d'oie	Graisse de canard	Graisse d'oie
Acides gras saturés (AGS)	acide myristique	C14:0	< 1	2	4	< 1	< 1	< 1	NR**	NR**
	acide palmitique	C16:0	24	22	26	25	25	21	NR**	NR**
	acide stéarique	C18:0	7	11	18	6	8	6	NR**	NR**
Σ AGS			NR**	NR**	NR**	NR**	33	28	34	31
Acides gras monoinsaturés (AGMI)	acide palmitoléique	C16:1 ω7	3	2	3	7	NR**	NR**	NR**	NR**
	acide oléique	C18:1 ω9	46	43	43	44	NR**	54	NR**	NR**
Σ AGMI			NR**	NR**	NR**	NR**	49	57	51	58
Acide Gras polyinsaturés (AGPI)	acide linoléique	C18:2 ω6	16	15	3	14	NR**	10	15	10
	acide α-linolénique	C18:3 ω3	1	< 1	< 1	< 1	NR**	< 1	1	1
	Acide eicosénoïque	C20:2 ω7	< 1	2	< 1	< 1	NR**	NR**	NR**	NR**
Σ AGPI			NR**	NR**	NR**	NR**	13	11	16	11

* Table CIQUAL, source de données américaines : U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2014). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27. Nutrient Data Laboratory Home Page, <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>; ** NR : non rapporté dans la publication.

3.3. Mécanisme d'oxydation des acides gras

Dans cette section, les mécanismes d'oxydation des acides gras polyinsaturés (présents dans les graisses, voir section 3.2) sont décrits, ainsi que les produits primaires et secondaires d'oxydation des acides gras. Parmi ces derniers, les produits principalement trouvés sont illustrés.

3.3.1. Produits d'oxydation des acides gras

Les acides gras polyinsaturés, en raison des doubles liaisons qu'ils contiennent, sont sujets à un mécanisme radicalaire de rancissement oxydatif, qui peut être initié par divers facteurs, tels que la présence de l'oxygène, l'exposition à la chaleur, à la lumière, à des rayonnements ionisants, à la présence de fer. Le terme "rancissement" est d'origine sensorielle et désigne l'oxydation des acides gras insaturés (Judde, 2004 ; Guillén-Sans et Guzmán-Chozas, 1998).

La figure 4 (Bonfont-Rousselot, 2020) illustre ce phénomène d'oxydation, avec une phase d'initiation où l'AGPI (dans ce cas, l'acide arachidonique pris comme exemple) est attaqué par une espèce radicalaire (OH^\bullet ou RO_2^\bullet) qui arrache un atome d'hydrogène à la molécule d'acide gras. Après réarrangement moléculaire et addition d'oxygène, il se forme des radicaux peroxy qui vont être capables à leur tour d'arracher un atome d'hydrogène à une autre molécule d'AGPI, c'est la phase de propagation, pendant laquelle l'oxydation s'accélère de manière exponentielle. Il se forme des hydroperoxydes lipidiques (ROOH), qui sont les produits primaires d'oxydation, et qui peuvent être déterminés dans une graisse grâce à la mesure de l'indice de peroxyde (voir section 3.4 pour la détermination de cet indice).

Les peroxydes sont ensuite dégradés notamment en aldéhydes qui sont les produits secondaires d'oxydation. Parmi ces aldéhydes, il existe un grand nombre de composés possibles dont le malondialdéhyde (MDA), le 4-hydroxynonéal (4-HNE), ou le 4-hydroxyhexanal (4-HHE).

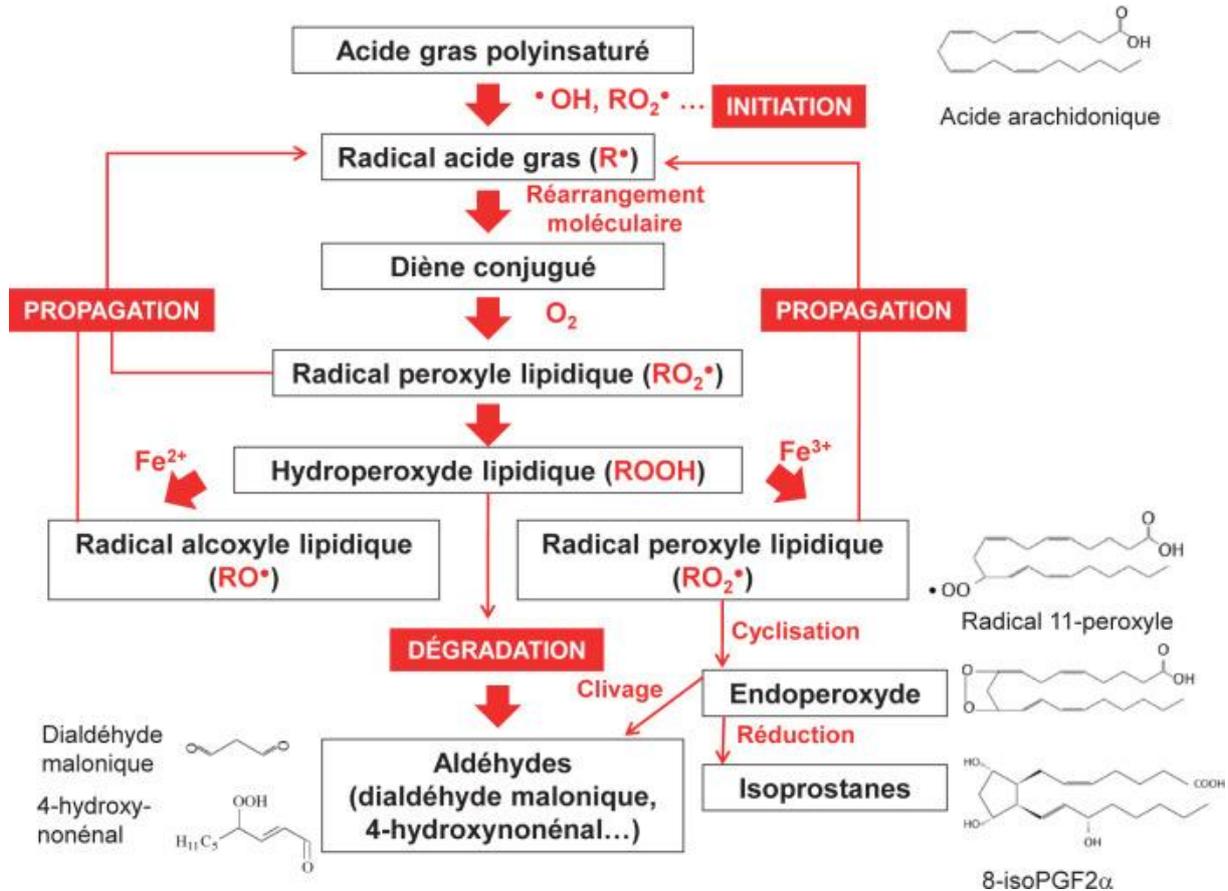
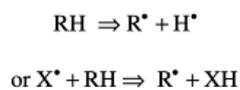


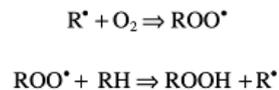
Figure 4 : Schéma de l'oxydation des acides gras polyinsaturés (Bonnet-Rousselot, 2020)

On parle aussi de phase de terminaison quand 2 radicaux libres réagissent entre eux (Figure 5).

(I) Initiation



(II) Propagation



(III) Termination

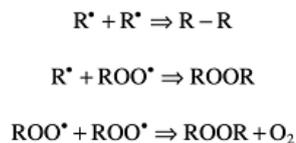


Figure 5 : Les trois phases de l'oxydation des acides gras (Kiokias et al., 2009)

La figure 6 montre la cinétique de formation des produits primaires et secondaires d'oxydation : la formation des produits primaires d'oxydation atteint un plateau avant de diminuer, tandis que se forment les produits secondaires d'oxydation (composés volatils et dimères). Les produits primaires d'oxydation n'ont pas de goût et pas d'odeur tandis que les produits secondaires d'oxydation sont responsables du goût de rance qui apparaît dans les graisses oxydées.

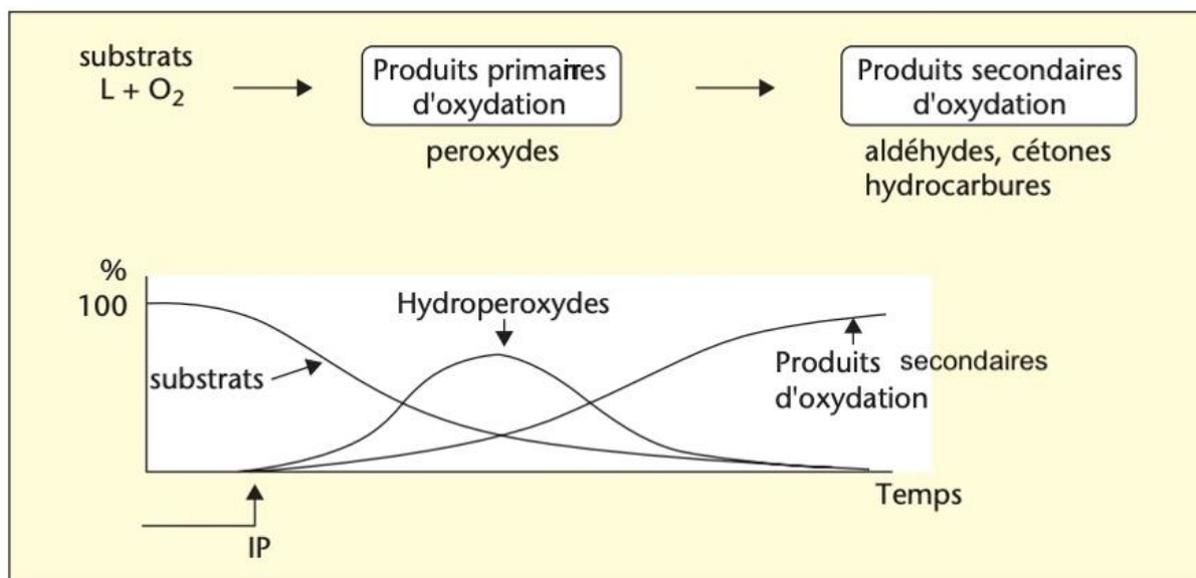


Figure 6 : Cinétique de formation des produits primaires et secondaires d'oxydation des acides gras (substrats) (Judde, 2004)

Parmi les divers produits secondaires d'oxydation, le 4-HNE (4-hydroxynonéal) est le composé majoritairement formé suite à l'oxydation des AGPI de type oméga 6 (Esterbauer et al., 1991), tels que l'acide linoléique, qui est l'AGPI majoritairement présent dans la graisse de canard. Il est présent à raison de 15% environ des acides gras totaux. Les acides gras de type oméga 3 tels que l'acide alpha-linolénique sont très peu présents dans la graisse de canard ; ils génèrent plutôt du 4-HHE (4-hydroxyhexenal ; Kristal et al., 1996). Le MDA (malondialdéhyde), le glyoxal ou l'acroléine sont des composés pouvant provenir de l'oxydation de n'importe quel AGPI. La figure 7 montre les structures chimiques des principaux produits secondaires d'oxydation des AGPI.

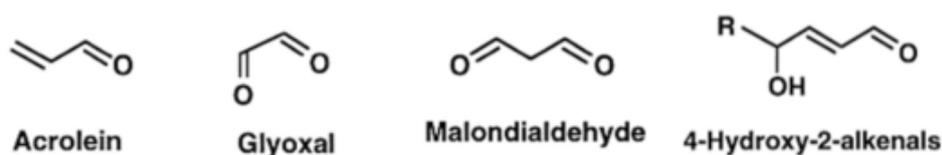


Figure 7 : Principaux produits secondaires d'oxydation des acides gras polyinsaturés (Uchida et al., 2000)

3.3.2. Furane

Lorsque les graisses contenues ou non dans les aliments sont portées à température élevée (plus de 100°C) pendant plusieurs minutes, les produits secondaires d'oxydation des acides gras peuvent également donner lieu à la formation de furane comme le montre la figure 8, où le 4-hydroxy-2-buténal, produit secondaire d'oxydation d'un acide gras polyinsaturé, est finalement dégradé en furane.

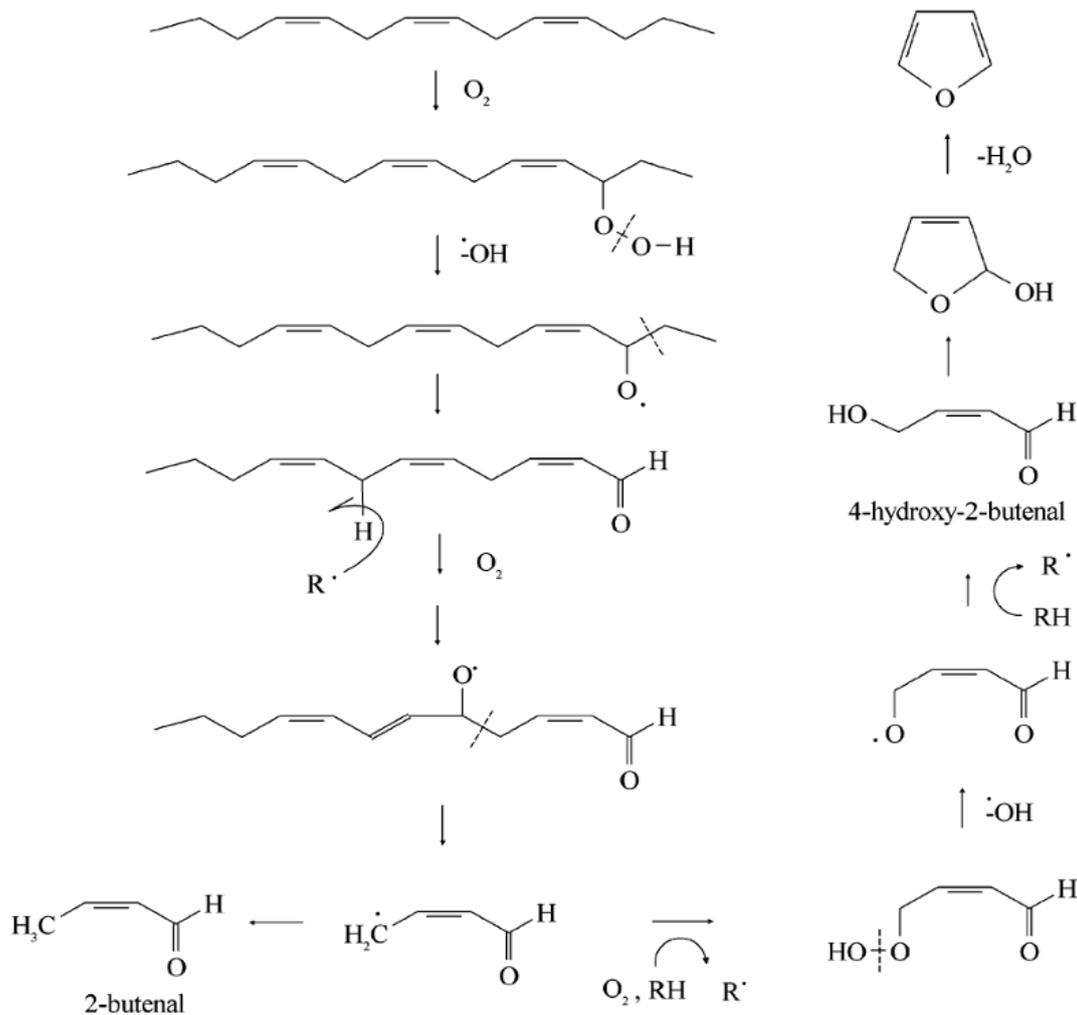


Figure 8 : Formation de furane suite à l'oxydation de l'acide linoléique (Locas & Yaylayan, 2004).

Quelques systèmes modèles ont montré que l'oxydation de l'acide oléique suite à un traitement à 118°C pendant 30 minutes dans l'eau génère beaucoup moins de furane que l'oxydation de l'acide linoléique (125 ng/g contre 625 ng/g) (Owczarek-Fendor et al., 2011).

Wang et al. (2014) signalent la formation de furane dans la graisse de canard ayant subi un traitement thermique d'au moins une heure à plus de 100°C (de 110 à 130°C).

Dans le cas de la graisse de canard, le traitement thermique (80°C selon le rapport de l'ITERG) n'est probablement pas suffisant pour conduire à la formation de furane. De plus, le furane est très volatil (température d'ébullition de 31°C), il est possible qu'il se retrouve plus

particulièrement dans les aliments transformés conditionnés dans des récipients hermétiques et traités thermiquement par la suite (conserves, bocaux, etc.).

3.3.3. Formes oxydées du cholestérol

D'après la table CIQUAL (2020), la graisse de canard consommée en France contient 100 mg de cholestérol par 100 g de graisse. Tout comme les AGPI, le cholestérol est susceptible de s'oxyder en présence d'oxygène et/ou suite à un traitement thermique.

L'oxydation du cholestérol serait similaire à celle des lipides, c'est-à-dire qu'elle peut être initiée en présence d'oxygène (air) à des températures élevées ou sous la lumière, entraînant une auto-oxydation ou une photo-oxydation. La figure 9 illustre le processus d'oxydation du cholestérol et les formes oxydées du cholestérol qui en résultent, que l'on peut retrouver dans les produits riches en cholestérol ayant subi un traitement thermique.

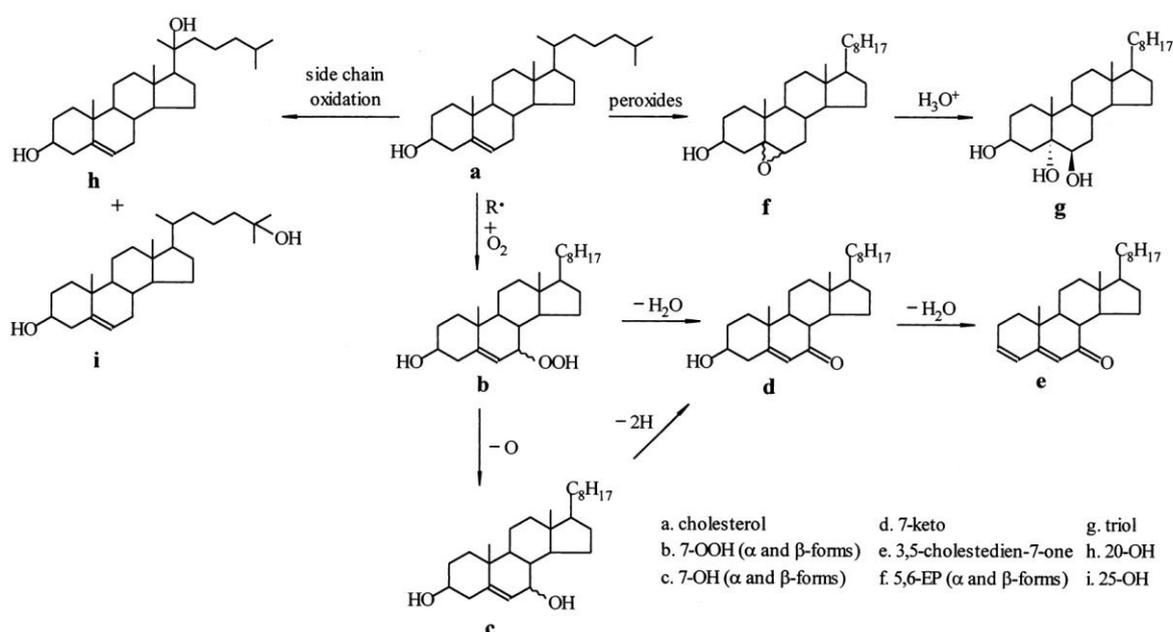


Figure 9 : Oxydation du cholestérol et composés qui en résultent (Tai et al., 1999)

Les graisses de palmipèdes ne contenant que 0,1% de cholestérol (CIQUAL 2020), les éventuels produits d'oxydation du cholestérol seront présents en très faible quantité (et en quantité négligeable par rapport aux produits d'oxydation des AGPI, qui sont présents à raison de 15% environ dans la graisse de canard). Les experts ne retiennent donc pas ces produits d'oxydation comme dangers dans le cadre de cette expertise.

Les acides gras polyinsaturés contenus dans les graisses de palmipèdes sont sensibles à l'oxydation, qui est favorisée par la présence d'une variété de facteurs (dont l'oxygène et la chaleur). Pendant cette réaction, des produits primaires d'oxydation se forment qui peuvent être estimés par la mesure de l'indice de peroxyde. Après un certain temps, les peroxydes se dégradent ensuite pour former des produits secondaires d'oxydation, qui peuvent être des substances préoccupantes pour la santé humaine (voir section 3.7).

3.4. Méthodes d'analyse de l'oxydation des graisses, incluant la formation de peroxydes et de produits secondaires d'oxydation

Comme indiqué précédemment, l'oxydation des acides gras génère des produits d'oxydation. Les hydroperoxydes qui apparaissent en premier (produits primaires d'oxydation) sont ensuite eux-mêmes dégradés en divers composés (aldéhydes et autres) appelés produits secondaires d'oxydation (voir section 3.3.1.). Ces produits secondaires sont responsables de l'odeur et du goût typique d'une graisse rance.

En fonction de l'objectif de l'analyse, peuvent être dosés les produits primaires d'oxydation (hydroperoxydes) ou les produits secondaires d'oxydation, ou les deux.

L'indice de peroxyde est un paramètre de qualité des huiles et des graisses (règlement (CE) n°853/2004). Par contre, les produits secondaires d'oxydation ne font l'objet d'aucune limite réglementaire dans les huiles et les graisses. Leur dosage permet d'avoir une idée du niveau de rancissement d'une graisse et est utilisé souvent de manière comparative vis-à-vis du contrôle d'une graisse non oxydée.

1) Produits primaires d'oxydation

Valeur de peroxyde (PV) (ou Indice de peroxyde) déterminée selon la méthode de l'AOCs (AOCs, 1989), NF EN ISO 3960 (2017) (précédemment NF EN ISO 27107 (2010)).

L'indice de peroxyde est une mesure de la quantité d'oxygène chimiquement lié à une huile ou un corps gras sous forme de peroxydes, en particulier d'hydroperoxydes. De l'iodure de potassium (KI) est ajouté à l'échantillon après mise en solution. La réaction entre les peroxydes et le KI provoque la libération d'iode (I_2) mesuré par titrage. Les résultats sont exprimés en milliéquivalents d'oxygène par kilogramme d'huile (meq O_2 /kg).

2) Produits secondaires d'oxydation

Valeur de p-Anisidine (p-AV) déterminée selon la méthode NF EN ISO 6885:2016.

La détermination des valeurs de p-AV permet de quantifier les produits secondaires d'oxydation (principalement des aldéhydes insaturés), qui réagissent avec la para-anisidine (p-anisidine) pour former un composé qui absorbe à une longueur d'onde de 350 nm. La p-AV est une valeur sans unité.

Substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS)

L'acide thiobarbiturique (TBA), considéré comme réagissant avec les aldéhydes en général, est utilisé dans la reconnaissance du niveau d'oxydation des graisses ou de leur rancissement. Toutefois, la revue de Guillén-Sans et Guzmán-Chozas (1998) montre que de nombreuses substances présentes dans les aliments, telles que les cétones, les cétostéroïdes, les acides, les esters, les sucres, les imides et amides, les acides aminés, les protéines oxydées, les pyridines, les pyrimidines et les vitamines peuvent également réagir avec le TBA.

Le principe de la mesure est la colorimétrie. Les produits secondaires d'oxydation des acides gras réagissent avec l'acide thiobarbiturique pour former un composé rouge qui absorbe à 558 nm. Une courbe de calibration peut être réalisée avec des quantités connues de

malondialdéhyde (MDA) afin d'estimer la teneur de l'échantillon en produits secondaires d'oxydation exprimée en mg de MDA par kg d'échantillon.

Valeur d'oxydation totale (TOTOX)

L'état d'oxydation totale (valeur TOTOX) des huiles et graisses permet de mesurer les produits primaires et secondaires d'oxydation et est calculé selon la formule suivante :

$$\text{TOTOX} = \text{p-AV} + 2\text{PV}$$

où p-Av = p-Anisidine (p-AV) et PV = valeur de peroxyde

Il s'agit d'un indice utilisé pour comparer des échantillons entre eux afin d'évaluer leur niveau d'oxydation.

Afin d'illustrer ces différents indices avec des valeurs concrètes, la figure 10 montre l'évolution de ces paramètres d'oxydation pour de la graisse sous-cutanée de canard, poulet, porc et bœuf, au cours de sa conservation à 60°C, pendant 90 jours, d'après l'étude de Shin et al. (2019). Dans tous les cas, la graisse de canard est celle qui présente les valeurs les plus élevées. C'est donc celle qui s'oxyde le plus rapidement en raison de sa teneur relativement élevée en AGPI, environ 15% d'acide linoléique, comparativement à la composition en acide gras de la graisse des autres espèces (voir tableau 1).

Du fait de leur capacité à s'oxyder, une attention particulière doit être apportée à la conservation des graisses, en particulier à celle des graisses de canard.

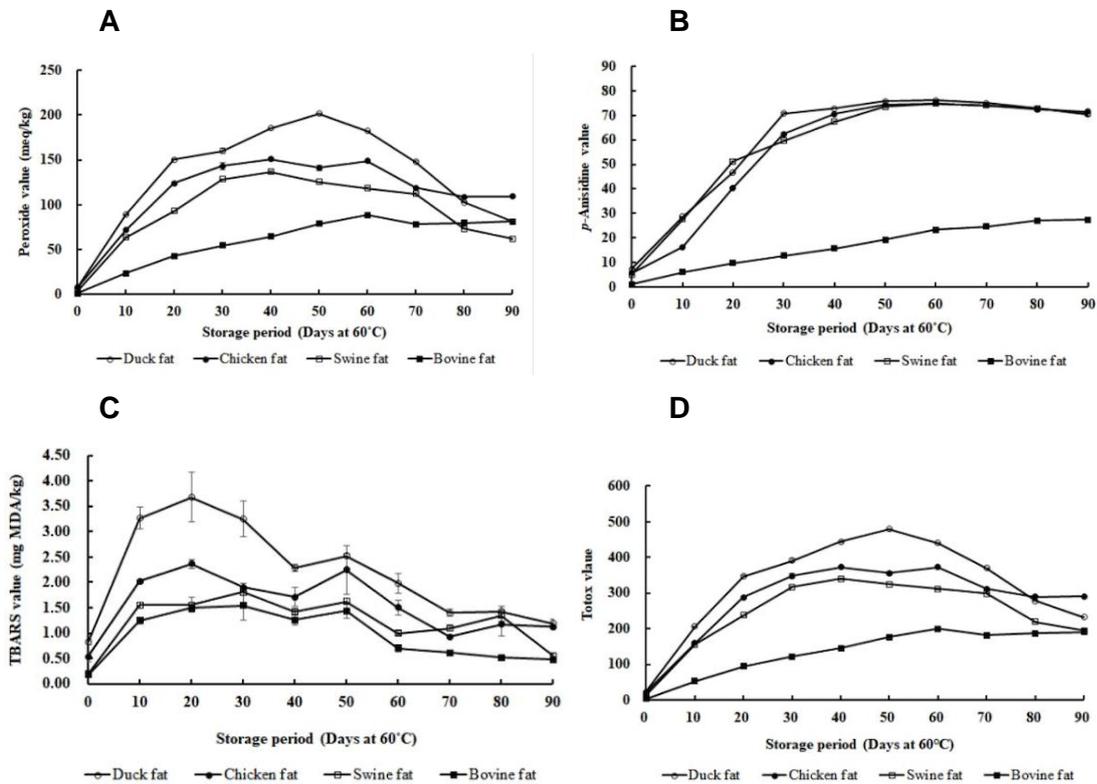


Figure 10 : Evolution de divers paramètres d'oxydation (A : PV ; B : p-AV ; C : TBARS ; D : Totox) pour de les graisses sous-cutanées de canard, poulet, porc et bœuf, au cours de leur conservation à 60°C (Shin et al., 2019).

En conclusion, l'oxydation des graisses et huiles, bien que complexe, peut être suivie et mesurée à travers différents indices comme la valeur de peroxyde (PV), la valeur de p-Anisidine (p-AV) et la quantification des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS). Cela permet d'évaluer le niveau de rancissement. L'indice TOTOX, qui combine ces mesures, est utile pour comparer le degré d'oxydation entre différents échantillons.

3.5. Analyse critique des bulletins d'analyse de graisses de palmipèdes transmis par la DGAL

Les tableaux 2 et 3 présentent les informations relatives aux 15 bulletins d'analyse de graisses de palmipèdes transmis par la DGAL.

Tableau 2 : Description des cinq bulletins d'analyse de l'indice de peroxyde de graisses de palmipèdes transmis par la DGAL

Nom du bulletin	Echantillon	Méthode de détermination de l'indice de peroxyde	Résultat de l'indice de peroxyde (meq O ₂ / kg de graisse)	Informations supplémentaires
Analyse graisse oie 12_02_2018	Graisse d'oie, conditionnement non précisé (conditionnement de vente), date de collecte : 31/01/2018, date de fabrication : 31/01/2018.	NF EN ISO 27107 - 2010	9,9 ± 4,0	T à réception entre 0 et 8 °C, eau matériaux volatils présents (0,5 ± 0,11 g /100g) et acidité en acide oléique (0,48 ± 0,05 g /100g graisse)
Analyse graisse canard 10_12_2020	Graisse de canard, boîte en métal de 3500 g, DLC : 28/10/2024, prélevée en conserverie, date de prélèvement : 06/11/2020, date d'analyse : 23/11/2020.	Titrimétrie ARZ/PRO/072 - selon NF EN ISO 5508 de juin 1995 (abrogée) et NF EN ISO 5509 de juin 2000	< 0,1	0,1% impuretés – ce bulletin présente une composition relative détaillée en acides gras
Analyse graisse canard_16_09_2022	Graisse de canard, bidon de 3600 g (consERVE), date de conditionnement : 12/09/2022, DLC : 11/09/2026, date de prélèvement : 13/09/2022, date d'analyse : 15/09/2022	NF EN ISO 3960 2017	5,1 ± 0,7	T à réception : 3,6 °C
Analyse graisse canard_06_02_2023	Graisse de canard, DLC ou DDM : 15/06/2023, date de prélèvement : 03/02/2023, Lieu de prélèvement : Cité Marine, Date d'analyse : 06/02/2022	NF EN ISO 3960 et NF EN ISO 660	15,1 ± 0,2	Température au moment du prélèvement : -18 °C, indice d'acide : 1,25 ± 0,02, Acidité oléique : 0,63 ± 0,01 %
Analyse graisse canard_17_02_2023	Graisse de canard, DDM : 16/06/2023, date de prélèvement : 14/02/2023, date d'analyse : 15/02/2023	NF EN ISO 27107	33,4 ± 4,0	Température à réception : 0-8 °C

Tableau 3 : Description des cinq bulletins d'analyse de l'acidité de la matière grasse exprimée en % d'acide oléique et des cinq bulletins d'analyse des composés secondaires de graisses de canards, transmis par la DGAL

Nom du bulletin	Echantillon	Méthode	Résultat d'analyse (g/100 g de graisse)	Informations supplémentaires
Analyses graisse canard acidité oléique 2022-2023	Graisse de canard - « Fondue tunnel », date de conditionnement : 28/02/2022, date de prélèvement : 01/03/2022, date de réception labo et date de mise en analyse : 03/03/2022	NF EN ISO 660	Acidité de la matière grasse en acide oléique : 0,91 ± 0,05	Température à réception : 2,6 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bocal graisse », date de conditionnement : 10/05/2022, date de prélèvement : 12/05/2022, date de mise en analyse : 16/05/2022		0,78 ± 0,05	Température à réception : 5,4 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bocal 320 g », date de conditionnement : 01/07/2022, date de prélèvement : 05/07/2022, date de mise en analyse : 07/07/2022		0,49 ± 0,05	Température à réception : 5,1 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bidon 3825 g », date de conditionnement : 13/10/2022, date de prélèvement : 18/10/2022, date de mise en analyse : 20/10/2022		1,0 ± 0,1	Température à réception : 7,9 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bidon 3850 g », date de conditionnement : 09/01/2023, date de prélèvement : 10/01/2023, date de mise en analyse : 12/01/2023		0,82 ± 0,05	Température à réception : 7,8 °C, Etat : conserve
Analyses graisse canard composés polaires 2022-2023	Graisse de canard - « Fondu tunnel », date de conditionnement : 28/02/2022, date de prélèvement : 01/03/2022, date de mise en analyse : 03/03/2022	NF EN ISO 8420	Composés polaires : 5,5	Température à réception : 2,6 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bidon de graisse »,		3,9	Température à réception : 1,6 °C, Etat : conserve

Nom du bulletin	Echantillon	Méthode	Résultat d'analyse (g/100 g de graisse)	Informations supplémentaires
	date de conditionnement : 02/06/2022, date de prélèvement : 07/06/2022, date de mise en analyse : 09/06/2022			
	Graisse de canard - « Bocal 320 g », date de conditionnement : 01/07/2022, date de prélèvement : 05/07/2022, Date de mise en analyse : 07/07/2022		1,7	Température à réception : 5,1 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bidon 3825 g », date de conditionnement : 13/10/2022, date de prélèvement : 18/10/2022, date de mise en analyse : 20/10/2022		5,3	Température à réception : 7,9 °C, Etat : conserve
	Graisse de canard - « Bidon 3850 g », date de conditionnement : 09/01/2023, date de prélèvement : 10/01/2023, date de mise en analyse : 12/01/2023		3,7	Température à réception : 7,8 °C, Etat : conserve

L'interprétation de ces bulletins par les experts est rendue difficile en raison du manque d'harmonisation des informations qui y sont rapportées, comme sur le lieu de prélèvement (en usine ou dans un commerce de distribution). Les dates de fabrication et les dates limites de consommation ne sont pas toujours mentionnées. De plus, des informations seraient nécessaires concernant le matériau utilisé pour les cuves ou les emballages utilisés pour les produits conditionnés (conserve en métal, verre), la présence de sel, etc. pour permettre une analyse approfondie des bulletins.

Toutefois, il ressort que l'indice de peroxyde est plus élevé lorsque l'analyse est réalisée à une date proche de la fin de la DLC.

Pour ce qui concerne l'analyse de l'indice de peroxyde dans la graisse d'oie (cf bulletin Analyse graisse oie 12_02_2018, Tableau 2), un écart-type très élevé a été relevé (valeur de $9,9 \pm 4,0$, soit une incertitude de 40 %). Dans le rapport qui accompagne les bulletins d'analyse, il aurait été souhaitable d'expliquer si cet écart-type a été calculé pour l'échantillon analysé ou s'il s'agit d'un écart-type par défaut du laboratoire pour cette méthode analytique. De manière générale, pour les analyses fournies, le nombre de répliques analysés n'est pas indiqué dans les bulletins transmis.

Dans les bulletins d'analyse de l'acidité de la matière grasse exprimée en % d'acide oléique, aucun indice d'acide ne dépasse la limite maximale du règlement européen. Concernant les résultats de composés polaires, dans la pratique, il s'agit d'un critère plus pertinent pour le

suivi de la qualité des huiles de friture. Il peut toutefois être d'intérêt pour le consommateur souhaitant utiliser la graisse de palmipède à cet effet (Décret n° 2008-184).

L'interprétation des résultats des bulletins d'analyse de graisses de palmipèdes transmis par la DGAL est rendue difficile pour les diverses raisons mentionnées ci-dessus. Par ailleurs, les experts rappellent que, même si certains résultats d'analyse sont conformes aux limites réglementaires, des informations supplémentaires sur les conditions de stockage et d'emballage sont nécessaires pour garantir la qualité des produits.

3.6. Impact des procédés de préparation des graisses de palmipèdes

Afin d'évaluer l'impact des procédés sur l'oxydation des acides gras des graisses de palmipèdes, il est nécessaire de disposer d'informations sur les pratiques de fabrication (à la fois pour les petits producteurs et les gros industriels), les dates limites de consommation des graisses de palmipèdes et l'utilisation de ces graisses (pour conserverie, confit de canard, friture, etc.). En l'absence de ces informations, les éléments qui suivent peuvent être proposés pour limiter l'apparition de réactions d'oxydation.

Sur un plan général, il est nécessaire de limiter le contact de la matière grasse fondue avec l'oxygène présent dans l'air lors des différentes étapes de traitement thermique, de remplissage de cuve, de soutirage, et de stockage en cuve à température modérée ou lors des étapes de refroidissement en moules (étape de cristallisation).

En effet, l'oxygène reste le premier maillon initiateur des réactions d'oxydation qui sont des réactions auto-catalytiques. Cela se traduit par une augmentation rapide des indicateurs d'acidité et de peroxydes, révélateurs d'une oxydation primaire ; ces paramètres devant être mesurés sur site pour pouvoir réagir rapidement en cas de mesures élevées.

Afin de limiter l'impact de l'oxygène, les apports en air lors de l'étape de fonte doivent être limités d'autant plus si l'air est chauffé. Le remplissage des cuves avec la graisse fondue doit se faire sans chute depuis le haut de la cuve et plutôt le long de la paroi.

Si possible, un espace de tête des cuves de stockage inerté à l'azote renforce également la qualité du stockage des graisses fondues maintenues à une température modérée, légèrement au-dessus du point de fusion de la graisse de palmipède. Cependant ce critère physico-chimique doit être validé par l'analyse microbiologique.

Pour limiter l'apparition des réactions d'oxydation au niveau des cuves de stockage tempérées, des étapes préliminaires de filtration et de décantation des graisses fondues sont primordiales.

Il est également conseillé de **vidanger totalement** une cuve avant de la remplir à nouveau pour éviter toute propagation incontrôlée des réactions d'oxydation de matière grasse fondue initialement saine. En effet, un fond de cuve peut rapidement initier des réactions d'oxydation dans une matière grasse fondue nouvellement produite. La maîtrise des températures de fonte et de stockage de la graisse fondue de palmipède est primordiale en raison de la présence d'acides gras polyinsaturés. Les barèmes temps/températures adaptés à la production et aux matériels utilisés devront ne pas être trop élevés pour ne pas être initiateurs de composés polaires, caractéristiques des réactions de dégradation des huiles portées à haute température lors de la fonte. Selon le décret n° 2008-184 du 26 février 2008, les graisses et huiles sont réputées impropres à la consommation humaine pour une teneur en composés polaires

supérieure à 25%. Ces composés apparaissent également progressivement lors de l'encrassement des matériels de fonte.

Les installations généralement conçues en matériels inoxydables alimentaires sont également une sécurité vis-à-vis du développement des réactions d'oxydation sensibles à la nature des matériaux employés. Les procédures de nettoyage des installations doivent faire en sorte d'éliminer la présence résiduelle d'eau, qui au contact de la graisse fondue peut être initiatrice de réactions d'oxydation. Ces quelques principes pourront être contrôlés au sein des différentes structures qui produisent de la graisse de palmipède destinée à la consommation humaine.

Les informations actuellement disponibles ne permettent pas de proposer des procédures ou formuler des conseils plus précis aux établissements de préparation de graisses de palmipèdes.

Cette section évoque quelques bonnes pratiques afin de limiter l'oxydation des graisses de palmipèdes lors de leur fabrication et leur stockage. Pour évaluer l'impact des procédés sur l'oxydation, il est important de connaître les pratiques de fabrication, les dates limites de consommation et l'utilisation des graisses. En l'absence de ces informations, plusieurs recommandations sont formulées : limiter l'exposition des graisses fondues à l'oxygène pendant le traitement thermique, le remplissage des cuves et le stockage. L'oxygène étant un facteur clé d'initiation des réactions d'oxydation, il est conseillé de limiter les apports d'air, notamment l'air chauffé, et d'utiliser des cuves avec un espace de tête inerté à l'azote. De plus, des étapes de filtration et de décantation sont essentielles pour éviter la propagation des réactions d'oxydation dans les cuves de stockage. La maîtrise des températures de fonte et de stockage, ainsi que le nettoyage adéquat des installations, sont également cruciaux. Les informations actuelles ne permettent toutefois pas de formuler des recommandations plus précises relatives à la préparation de graisses de palmipèdes.

3.7. Analyse bibliographique des informations sur les dangers liés à l'oxydation des graisses

Les composés d'oxydation des lipides se forment lors de la peroxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) présents dans les aliments. Les peroxydes sont les premiers produits formés lors de l'oxydation des lipides, et ils sont hautement instables et réactifs. Ils peuvent se décomposer en produits secondaires plus stables, mais pouvant potentiellement être toxiques. Parmi ces produits d'oxydation des lipides, les aldéhydes, les cétones, les alcools, les acides gras à chaîne courte, les esters, les hydrocarbures, les furanes et les lactones sont les plus courants (Albuquerque et al., 2022).

Sur la base des résultats de la recherche bibliographique effectuée dans le cadre de cette saisine, les composés suivants ont été identifiés :

1. Hydroperoxydes lipidiques :

- Hydroperoxy-octadécadienoates (HpODEs), (Ramsden et al 2018)
- Acide 3-hydroperoxy-octadécadiénoïque (13-HPODE) (Ramsden et al 2018)

2. Aldéhydes :

- 4-hydroxy-2-nonéanal (HNE), (Albuquerque et al 2022)
- 4-hydroxy-2-hexéanal (HHE), (Albuquerque et al 2022)
- Malondialdéhyde (MDA), (Andia and Sheet 2002)

- Acroléine (Picklo et al., 2002)
 - Crotonaldéhyde (Luczaj and Skrzydlewska 2003)
 - Propanal, Butanal, Hexanal, Heptanal, 2-Hexéanal et 2-octéanal (Wang et al., 2014)
3. Oligomères d'acides gras :
- Dimères d'acides gras (Leopold et al., 2023)
 - FAHFA (Fatty Acid Esters of Hydroxy Fatty Acids), (Leopold et al., 2023)
4. Composés chlorés :
- Chlorhydrines d'acides gras (Leopold et al., 2024)
5. Autres produits d'oxydation :
- Neuroketals (Picklo et al., 2002)
 - Hydroxy-octadecadienoates (HODEs) : (9-HODE et 13-HODE), (Ramsden et al., 2018)
 - Oxo-octadecadienoates (oxo-ODEs) : (9-oxo-ODE et 13-oxo-ODE), (Ramsden et al., 2018)
 - Epoxy-octadecenoates (EpOMEs) : (9(10)-EpOME et 12(13)-EpOME), (Ramsden et al., 2018)
 - Dihydroxy-octadecenoates (DiHOMEs) : (9,10-DiHOME et 12,13-DiHOME), (Ramsden et al., 2018)
 - Trihydroxy-octadecenoates (TriHOMEs), (Ramsden et al., 2018)
 - Acides gras oxydés non-uréiques (NUAF), (Andia and Sheet 1975)
 - Diènes conjugués (Straprans et al., 1999)
 - Furane (Becalski and Seaman 2005)
 - 1-hexanol et 1-pentanol (Wang et al., 2014)
 - Pentane et hexane (Wang et al., 2014)
 - Acide acétique et acide butanoïque (Wang et al., 2014).

Sur la base de la liste ci-dessus, considérant le niveau d'information disponible quant aux effets toxiques associés et les produits secondaires d'oxydation les plus souvent mentionnés dans la littérature, quatre composés sont présentés plus en détails : le 4-hydroxynonéal (4-HNE, n°CAS : 75899-68-2), le 4-hydroxyhexanal (4-HHE, n°CAS : 109710-36-3), le malondialdéhyde (MDA, n°CAS : 542-78-9) et le furane (n°CAS : 110-00-9).

Le 4-hydroxynonéal (4-HNE) est un produit majeur de la peroxydation lipidique des acides gras polyinsaturés (AGPI) n-6, tels que l'acide linoléique et l'acide arachidonique. Plusieurs voies de formation du 4-HNE ont été identifiées, impliquant la formation d'hydroperoxydes, de radicaux alkoxy, d'époxydes et de réactions de réticulation des acides gras (Albuquerque et al., 2022 ; Kanner 2007 ; Picklo et al., 2002 ; Spickett 2013 ; voir aussi la partie 3.3 dans ce document).

Le 4-HNE est hautement réactif (formation d'adduits) et cytotoxique (Spickett 2013). Il provoque la réticulation des protéines, ce qui entraîne des effets toxiques, notamment la perturbation de la signalisation cellulaire, l'inhibition de l'activité enzymatique, la modification de la structure tertiaire, la dérégulation des gènes, le dysfonctionnement mitochondrial et la perte de formation du cytosquelette. Le 4-HNE a un potentiel génotoxique plus élevé que le 4-HHE et d'autres composés similaires (Albuquerque et al., 2022 ; Picklo et al., 2002).

Une consultation des principales bases de données où sont répertoriées les classifications des produits chimiques en termes de dangers pour la santé ou l'environnement, au niveau national (portail des substances chimiques de l'INERIS - <https://substances.ineris.fr/le-portail>).

substances-chimiques) ou au niveau international (méta-moteur de recherche eChemportal de l'OCDE - <https://www.oecd.org/en/data/tools/echemportal-global-portal-to-information-on-chemical-substances.html>), ne rapportent cependant pas pour le 4-HNE de classement ni sur l'annexe VI des substances chimiques évaluées par l'ECHA (réglementation CLP) ni par rapport aux exigences du règlement REACH. Le 4-HNE est répertorié au niveau de la base de données CompTox de l'U.S. Environmental Protection Agency (EPA), mais pour des résultats liés au possible mécanisme d'action. Le Centre International de la Recherche sur le Cancer (CIRC) n'a pas évalué le potentiel cancérigène du 4-HNE.

Le 4-hydroxy-hexanal (4-HHE) est un produit secondaire de la peroxydation lipidique des AGPI n-3, tels que l'acide docosahexaénoïque (DHA) et l'acide eicosapentaénoïque (EPA) (Albuquerque et al., 2022 ; Kanner et al., 2007). Tout comme le 4-HNE, le 4-HHE est un aldéhyde réactif, mais son potentiel génotoxique serait moindre (Albuquerque et al., 2022). Il est, sur ce plan, moins étudié que le 4-HNE, et ses effets toxicologiques spécifiques nécessitent des études supplémentaires. Comme le 4-HNE, le 4-HHE n'est classé en termes de danger dans aucune des bases de données nationales et internationales de classification consultées. Le CIRC n'a pas évalué le potentiel cancérigène du 4-HHE. Dans la base de données CompTox de l'US EPA, aucune catégorie d'effets toxicologiques n'est mentionnée.

Le malondialdéhyde (MDA) est un autre aldéhyde réactif. Il est parmi un des plus documentés des aldéhydes produits lors de la peroxydation lipidique dans les aliments (Del Rio et al., 2005 ; Picklo et al., 2002 ; Luczaj and Skrzydlewska 2003). Il est issu de l'oxydation des lipides contenant des AGPI à trois doubles liaisons ou plus, principalement l'acide arachidonique et l'acide docosahexaénoïque (Albuquerque et al., 2022).

Le MDA interagit avec l'ADN et les protéines, il a souvent été qualifiée de potentiellement mutagène et athérogène¹ (Del Rio et al., 2005). Il est cancérigène chez les rongeurs (Picklo et al., 2002 ; Luczaj and Skrzydlewska 2003). Les consultations des mêmes bases de données que pour les deux produits d'oxydation vus précédemment ne rapportent pas d'information concernant une classification officielle par l'ECHA (CLP, ou REACH) du MDA. Le CIRC a classé en 1998 ce composé en groupe 3 (inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'Homme). La base de données CompTox de l'US EPA rapporte des potentialités cancérigènes chez l'Homme lors d'une exposition par inhalation (risque professionnel). L'US-NTP rapporte des effets génotoxiques.

Le furane est principalement généré par la cyclisation finale de l'aldotérose, un produit intermédiaire de l'oxydation du glucose et d'autres sucres réducteurs, mais les 4-hydroxy-2-alcénaux peuvent également agir comme précurseurs du furane (Becalski and Seaman 2005 ; Soek et al., 2015). La consultation des bases de données utilisées pour les trois composés précédents rapporte que le furane a été classé en 1995 dans le groupe 2B par le CIRC (peut-être cancérigène pour l'Homme). Il est aussi classé par la réglementation CLP (ECHA) comme toxique aigu par voie orale de niveau 4, mutagène sur cellule germinale de niveau 2, cancérigène de niveau 1B, toxique sur organe spécifique de niveau 3 en administration répétée (organe non précisé).

L'apparition de ces composés résulte donc d'un processus complexe influencé par divers facteurs comme cela est rapporté dans ce document.

¹ Qui favorise la formation d'athérome ou l'athérosclérose

Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes d'action de ces composés d'intérêt afin de pouvoir classer la nature des dangers associés.

La peroxydation des AGPI dans les aliments mène à la formation de divers composés d'oxydation, dont les peroxydes qui sont instables et réactifs. Ces peroxydes se décomposent ensuite en produits secondaires plus stables, mais pouvant être toxiques, tels que des aldéhydes, des cétones, des furanes et des lactones. Parmi ces produits, les données de toxicité du 4-HNE, le 4-HHE, le MDA et le furane sont bien documentées et présentées de manière synthétique dans cette note. Néanmoins, il reste des lacunes concernant leurs mécanismes d'action et leur classification en termes de danger. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux identifier et caractériser les dangers associés à ces composés et pour clarifier leur impact sur la santé humaine.

3.8. Analyse d'incertitudes

Les incertitudes relatives à l'interprétation en termes de santé publique de la valeur qualitative de 4 meq/kg de graisse du règlement (CE) n°853/2004 et les modalités de leur prise en compte par les experts sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Tableau des incertitudes

Volet de l'expertise	Sources d'incertitudes	Prise en compte	Impact sur les résultats de l'expertise
Composition générale des graisses alimentaires, composition des graisses de palmipèdes, nomenclature des acides gras, mécanismes d'oxydation, méthodes d'analyse des produits d'oxydation	Les articles n'ont pas été identifiés par une revue systématique de la littérature	L'expertise s'est appuyée sur des articles scientifiques identifiés par les experts.	Non concerné. Il s'agit d'informations générales utiles à la compréhension du sujet.
	La revue systématique n'a pas permis d'identifier des données françaises relatives à la composition des graisses de palmipèdes.	Les données existantes dans la littérature (Chine, USA) ont été prises en compte.	Faible.
Bulletins d'analyse faisant l'objet d'une analyse critique	Informations manquantes : lieu de prélèvement, dates de fabrication, dates limites de consommation, matériau des cuves/emballages (conserves en métal, verre), présence de sel, etc.	Pas de prise en compte. Ces résultats n'ont pas pu être interprétés et ne figurent pas dans les conclusions de l'expertise.	Non concerné.
Impact des procédés de préparation des graisses de palmipèdes	Manque d'informations dans la littérature scientifique sur les pratiques de fabrication des graisses	L'impact des procédés n'a pas pu être évalué. Des recommandations ont été formulées par les experts pour limiter l'apparition de produits d'oxydation.	Non concerné. Il s'agit d'informations générales et de proposition de mesures de maîtrise.
Identification de danger dans les graisses de palmipèdes	A l'exception de la figure 10 (issue de Shin et al., 2019) et d'un article en chinois (Wang et al., 2014), la recherche bibliographique n'a pas permis d'identifier de composés d'oxydation spécifiques aux graisses de palmipèdes.	La composition des graisses est liée à l'alimentation des palmipèdes qui peut différer entre les palmipèdes chinois et français. Les dangers identifiés correspondent aux produits d'oxydation de certains acides gras (quelle que soit leur origine).	Non caractérisé. Sans être totalement transposable d'un pays à l'autre, les données chinoises permettent une première approche du sujet en France
	Données relatives à la caractérisation de danger	Parmi les produits identifiés, les données de toxicité du 4-HNE, 4-HHE, MDA et furane sont bien documentées et présentées de manière synthétique dans cette note. Néanmoins, il reste des lacunes concernant leurs mécanismes d'action et leur classification en termes de danger. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux identifier et caractériser les dangers et pour clarifier leur impact sur la santé humaine.	Non caractérisable.

L'identification des dangers s'est appuyée principalement sur une revue systématique de la littérature. Toutefois, la revue systématique n'a pas permis d'identifier des données françaises relatives à la composition des graisses de palmipèdes. L'expertise s'est donc appuyée principalement sur des données internationales. Concernant les dangers identifiés dans les articles pertinents, aucun n'est lié spécifiquement aux graisses de palmipèdes. Toutefois, ces acides gras étant présents en quantité significative dans les graisses de palmipèdes, la liste des dangers est considérée comme pertinente par les experts.

3.9. Conclusions et recommandations

Afin de répondre à cette saisine, une revue systématique de la littérature a été menée pour identifier les éventuels dangers associés à l'oxydation des graisses de palmipèdes. En complément de cette revue systématique, des données bibliographiques ont été recueillies concernant la composition des graisses de canard et d'oie, les mécanismes d'oxydation des acides gras, les méthodes analytiques de l'oxydation des graisses et les moyens de limiter l'apparition de produits d'oxydation au cours des procédés de préparation des graisses de palmipèdes destinées à la consommation humaine.

La revue systématique n'a pas permis d'identifier de données françaises relatives à la composition des graisses de palmipède ; ceci induit une incertitude quant à la proportion des composés d'oxydation formés dans les produits contenant ces graisses sur le marché français.

Sur la base des données disponibles (Chine, USA), l'analyse bibliographique est informative sur les points suivants :

- Les graisses de palmipèdes (de canard et d'oie) contiennent des acides gras saturés (AGS, 35 %), des acides gras monoinsaturés (AGMI, 50 %) et des acides gras polyinsaturés (AGPI, 15%). Parmi les AGS, l'acide stéarique et l'acide palmitique présentent les teneurs les plus élevées. Parmi les AGMI, l'acide oléique est prépondérant et, parmi les AGPI, l'acide linoléique est l'acide gras le plus souvent retrouvé en teneurs les plus élevées. La comparaison des graisses de palmipèdes avec les graisses bovines et porcines montre que la teneur en AGMI est plus élevée dans les graisses de palmipèdes, ce qui les rend plus sensibles à l'oxydation.
- En raison des doubles liaisons dans leur structure chimique, les AGPI sont sujets à un mécanisme radicalaire de rancissement oxydatif. Il peut être initié par divers facteurs tels que l'oxygène et la chaleur notamment et résultent en la formation de produits primaires et secondaires d'oxydation.
- Plusieurs méthodes d'analyse permettent de mesurer l'oxydation des graisses. La valeur (ou indice) de peroxyde (PV) est la plus souvent utilisée. D'autres techniques comme la valeur de p-Anisidine (p-AV) et la quantification des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) permettent d'évaluer le niveau de rancissement. L'indice TOTOX permet de comparer le degré d'oxydation entre différents échantillons.

L'analyse de la littérature a permis d'identifier une liste de substances produites par l'oxydation des graisses. Parmi ces substances, des éléments d'information concernant la toxicité du 4-HNE, du 4-HHE, du MDA et du furane sont présentés dans cette expertise. Ils conduisent à conclure qu'il convient d'en maîtriser la présence pour limiter les dangers associés à la consommation de graisses les contenant.

L'identification d'autres facteurs tels que les propriétés organoleptiques qui peuvent motiver la mise en place d'un indicateur de l'oxydation, la présence de certains des produits d'oxydation identifiés dans cette expertise et l'état de connaissance sur leur toxicité motivent clairement un encadrement du niveau d'oxydation des graisses animales, tel qu'il existe dans le règlement (CE) n°853/2004. Pour autant, l'expertise n'a pas permis de qualifier en termes de santé publique le risque associé au dépassement de la valeur de 4 meq/kg pour l'indice de peroxyde de ce même règlement.

Aussi, dans l'attente d'éventuels éléments permettant d'envisager une réévaluation du seuil, l'Agence rappelle les moyens de maîtrise de l'oxydation des graisses de palmipèdes qu'elle a listés dans la présente note, dont la mise en œuvre doit permettre aux acteurs de la filière de se conformer au seuil réglementaire.

L'Agence souligne les données qui seraient nécessaires pour porter une proposition de seuil : elles concernent à la fois une analyse plus exhaustive des dangers (en plus des 4 précédemment cités), des éléments quantitatifs sur la composition des graisses de palmipèdes typiques de la filière française et des paramètres influant sur cette composition ainsi que des éléments qualitatifs et quantitatifs relatifs à l'oxydation des graisses aux différentes étapes de préparation et de distribution des produits.

Les conditions de friture favorisant la formation des produits secondaires d'oxydation, l'Agence recommande aux consommateurs de ne pas utiliser les graisses de palmipèdes pour ce type de cuisson (cuisson en bain d'huile).

Pr Benoit Vallet

MOTS-CLÉS

Graisses de palmipèdes ; graisses de canard ; graisses d'oie ; oxydation ; graisses oxydées
Palmiped fats; duck fats; goose fats; oxidation; oxidised fats

BIBLIOGRAPHIE

- Albuquerque, T.G., H.S. Costa, and M.B.P.P. Oliveira. 2022. « 4-hydroxy-2-alkenals in foods: a review on risk assessment, analytical methods, formation, occurrence, mitigation and future challenges ». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62, (13) : 3569-3597. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867499>.
- Andia, Ana M., and Joseph C. Street. 1975 « Dietary induction of hepatic microsomal enzymes by thermally oxidized fats ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 23 (2) : 173-177. <https://doi.org/10.1021/jf60198a037>.
- Anses. 2011. "Avis relatif à l'impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en acides gras des produits animaux destinés à l'Homme. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ALAN2005sa0300Ra.pdf>.
- Banaszak, M., J. Kuźniacka, J. Biesek, G. Maiorano, and M. Adamski. 2020. « Meat quality traits and fatty acid composition of breast muscles from ducks fed with yellow lupin ». *Animal* 14 (9) 1969-1975. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000610>.
- Becalski, A., and S. Seaman. 2005. « Furan precursors in food: A model study and development of a simple headspace method for determination of Furan ». *Journal of AOAC International* 88 (1) : 102-106. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.1.102>.
- Bonnefont-Rousselot Dominique. 2020. « Les marqueurs de l'oxydation des lipides ». *Revue Francophone des Laboratoires* 2020 (522) 47-55.
- Chen Xi, Xue Du, Jianliang Shen, Lizhi Lu, and Weiqun Wang. 2017. "Original Research: Effect of various dietary fats on fatty acid profile in duck liver: Efficient conversion of short-chain to long-chain omega-3 fatty acids." *Experimental Biology and Medicine*. 242 (1) : 80-87. doi:10.1177/1535370216664031
- CIQUAL. 2020. <https://ciqual.anses.fr/>
- CSS - Conseil supérieur de la santé en Belgique. 2011. « Sécurité des huiles et des graisses ». https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19067528/S%C3%A9curit%C3%A9%20des%20huiles%20et%20des%20graisses%20%28janvier%202011%29%20%28CSS%208310%29.pdf.
- Del Rio, Daniele, Amanda J. Stewart, and Nicoletta Pellegrini. « A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress ». *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 15 (4) : 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2005.05.003>.

- Décret n° 2008-184 du 26 février 2008 portant application du code de la consommation en ce qui concerne les graisses et huiles comestibles.
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000018188420/>
- Esterbauer, H., J.S. Schaur, and H. Zollner. 1991. "Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malondialdehyde and related aldehydes." *Free Radic. Biol. Med.*, 11 : 81-128
- Guillén-Sans, R., et M. Guzmán-Chozas. 1998. « The Thiobarbituric Acid (TBA) Reaction in Foods: A Review. » *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 38 (4) : 315-330.
<https://doi.org/10.1080/10408699891274228>.
- Judde, Armelle. 2004 « Prévention de l'oxydation des acides gras dans un produit cosmétique : mécanismes, conséquences, moyens de mesure, quels antioxydants pour quelles applications » ? *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 11 (6) : 414-18.
<https://doi.org/10.1051/ocl.2004.0414>.
- Kanner, J. 2007 « Dietary advanced lipid oxidation endproducts are risk factors to human health ». *Molecular Nutrition and Food Research* 51 (9) : 1094-1101.
<https://doi.org/10.1002/mnfr.200600303>.
- Kim, Tae-Kyung, Min Hyeock Lee, Se-MyungKim, MinJungKim, SamooelJung, HaeInYong, and Yun-Sang Choi. 2021. « Physiochemical properties of reduced-fat duck meat emulsion systems: effects of preemulsification with vegetable oils and duck skin ». *Poultry Science* 100 (2) : 1291-98. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.044>
- Kiokias S., Theodoros H. Varzakas, Ioannis S. Arvanitoyannis, and Athanasios E. Labropoulos. 2010. "Lipid Oxidation and Control of Oxidation." *Advances in Food Chemistry*, Ed. Fatih Yildiz, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, FL, USA. Chap 12, pp 383-409.
- Kristal, B.S., B.K. Park, and B.P. Yu. 1996. "4-hydroxyhexenal is a potent inducer of the mitochondrial permeability transition." *J. Biol. Chem.*, 271 : 6033-6038
- Leopold, Jenny, Patricia Prabutzki, Kathrin M. Engel, and Jürgen Schiller. 2023. « From Oxidized Fatty Acids to Dimeric Species: In Vivo Relevance, Generation and Methods of Analysis ». *Molecules* 28 (23) : 7850. <https://doi.org/10.3390/molecules28237850>.
- Li, Fan, Yinglin Lu, Zongliang He, Debing Yu, Jing Zhou, Heng Cao, Xingyu Zhang, Hongjie Ji, Kunpeng Lv, and Minli Yu. 2024. « Analysis of carcass traits, meat quality, amino acid and fatty acid profiles between different duck lines ». *Poultry Science* 103 (7) : 103791.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103791>.
- Locas CP and Yaylayan VA. 2004. «°Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan - A food toxicant°». *J Agric Food Chem* 52 (22) : 6830-6836.
- Łuczaj, W., and E. Skrzydlewska. 2003. « DNA damage caused by lipid peroxidation products ». *Cellular and Molecular Biology Letters* 8 (2) : 391-413.
- Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, spécification technique n° E5 -05 du 8 décembre 2005 applicable aux graisses végétales et/ou animales alimentaires. Consulté le 29 novembre 2024.
https://www.economie.gouv.fr/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/gem/graisses/graisses.pdf?v=1580282614.

- Owczarek-Fendor, Agnieszka, Bruno De Meulenaer, Georges Scholl, An Adams, Fien Van Lancker, Gauthier Eppe, Edwin De Pauw, Marie-Louise Scippo, and Norbert De Kimpe. 2012. « Furan formation in starch-based model systems containing carbohydrates in combination with proteins, ascorbic acid and lipids ». *Food Chemistry* 133 (3) : 816-821. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.098>.
- Picklo Sr., M.J., T.J. Montine, V. Amarnath, and M.D. Neely. 2002. « Carbonyl toxicology and Alzheimer's disease ». *Toxicology and Applied Pharmacology* 184 (3) : 187-197. <https://doi.org/10.1006/taap.2002.9506>.
- Ramsden, Christopher E., Marie Hennebelle, Susanne Schuster, Gregory S. Keyes, Casey D. Johnson, Irina A. Kirpich, Jeff E. Dahlen, et al. 2018. « Effects of Diets Enriched in Linoleic Acid and Its Peroxidation Products on Brain Fatty Acids, Oxylipins, and Aldehydes in Mice ». *Biochimica et Biophysica Acta. Molecular and Cell Biology of Lipids* 1863 (10) : 1206-1213. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.07.007>.
- Salichon, Mr, G Guy, D Rousselot, and Jc Blum. 1994. « Composition des 3 types de foie gras : oie, canard mulard et canard de Barbarie ». *Annales de zootechnie* 43 (2) : 213-220.
- Seok, Y.-J., J.-Y. Her, Y.-G. Kim, M.Y. Kim, S.Y. Jeong, M.K. Kim, J.-Y. Lee, C.-I. Kim, H.-J. Yoon, and K.-G. Lee. 2015. « Furan in thermally processed foods - A review ». *Toxicological Research* 31 (3) : 241-253. <https://doi.org/10.5487/TR.2015.31.3.241>.
- Shin, Dong-Min, Do Hyun Kim, Jong Hyeok Yune, Hyuk Cheol Kwon, Hyo Juong Kim, Han Geuk Seo, and Sung Gu Han. 2019. « Oxidative Stability and Quality Characteristics of Duck, Chicken, Swine and Bovine Skin Fats Extracted by Pressurized Hot Water Extraction ». *Food Science of Animal Resources* 39 (3) : 446-458. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e41>.
- Shin, Dong-Min, Jong Hyeok Yune, Tae-Kyung Kim, Yea Ji Kim, Hyuk Cheol Kwon, Do Hyun Kim, Chang Hee Jeong, Yun-Sang Choi, and Sung Gu Han. 2021. « Physicochemical properties and oxidative stability of duck fat-added margarine for reducing the use of fully hydrogenated soybean oil ». *Food Chemistry* 363 : 130260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130260>.
- Shin, Dong-Min, Yun Jeong Kim, Yun-Sang Choi, Bum-Keun Kim, and Sung Gu Han. 2023. « Duck fat: Physicochemical characteristics, health effects, and food utilizations ». *LWT* 188 : 115435. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115435>.
- Spickett, Corinne M. 2013. « The lipid peroxidation product 4-hydroxy-2-nonenal: Advances in chemistry and analysis ». *Redox biology* 1 (1) : 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2013.01.00>
- Staprans, I., D. A. Hardman, X. M. Pan, and K. R. Feingold. 1999. « Effect of Oxidized Lipids in the Diet on Oxidized Lipid Levels in Postprandial Serum Chylomicrons of Diabetic Patients ». *Diabetes Care* 22, (2) : 300-306. <https://doi.org/10.2337/diacare.22.2.300>.
- Tai, C.-Y.; Chen, Y.C.; and Chen, B.H. 1999. "Analysis, Formation and Inhibition of Cholesterol Oxidation Products in Foods: An Overview (Part I)," *Journal of Food and Drug Analysis* 7 (4), Article 6. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2860>
- Uchida, Koji. 2000. "Role of reactive aldehyde in cardiovascular diseases." *Free Radical Biology and Medicine*, 28 (12) : 1685-1696,

- Wang, Shu-hui, Pan Dao-dong, Cao Jin-Xuan, Zeng Xiao-Qun, and Li Hua. 2014. « Optimization of Conditions for Controlled Oxidation of Duck Fat and Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis of Volatile Aroma Components ». *Food Science* 35 (2) : 205-208. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201402039>.
- Wojtasik-Kalinowska, I., E. Górska-Horzyczak, A. Stelmasiak, M. Marcinkowska-Lesiak, A. Onopiuk, A. Wierzbicka, et A. Pótorak. 2021. « Effect of Temperature and Oxygen Dose During Rendering of Goose Fat to Promote Fatty Acid Profiles ». *European Journal of Lipid Science and Technology* 123 (12). <https://doi.org/10.1002/ejlt.202100085>.
- Zhang, Xin, Yan Deng, Jiaming Ma, Shenqiang Hu, Jiwei Hu, Bo Hu, Hehe Liu, Liang Li, Hua He, and Jiwen Wang. 2022. « Effects of different breeds/strains on fatty acid composition and lipid metabolism-related genes expression in breast muscle of ducks ». *Poultry Science* 101 (5) : 101813. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101813>.

CITATION SUGGÉRÉE

Anses (2025). Note d'appui scientifique et technique de l'Anses relatif à la dangerosité liée à l'oxydation des graisses de palmipèdes d ne respectant pas les dispositions du règlement (CE) n°853/2004, annexe III, section XII (saisine 2023-SA-0132). Maisons-Alfort : Anses, 34 p.

ANNEXE 1 : EQUATION DE RECHERCHE DEFINIE POUR LA REVUE SYSTEMATIQUE

Equation de recherche sur Scopus (réalisée le 15 mai 2024)

("Duck fat*" OR "Goose fat*" OR ("Oxidized fat*" AND "Goose" OR "Duck" OR "Geese") OR "Oxidation of Polyunsaturated fat*" OR "Oxidized Polyunsaturated fat*" OR "Oxidation of polyunsaturated fatty acid*" OR "Oxidized polyunsaturated fatty acid*" OR "Ingestion of oxidized fat*" OR "Secondary fatty acid oxidation product*" OR ("malondialdehyde" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("TBARS" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("TOTOX" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("peroxide value*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("p-anisidine" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("heat* process*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Heat treatment*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Thermal process*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Lipid* oxidation" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Oxidised lipid*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Oxidation of lipid*" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR ("Fat* oxidation" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*") OR "Fatty acid* oxidation" AND "duck*" OR "Goose*" OR "Geese*")

Equation de recherche sur Pubmed (réalisée le 15 mai 2024)

("Duck fat*" OR "Goose fat*" OR "Oxidized fat*" OR "Oxidised fat*" OR "Oxidation of Polyunsaturated fat*" OR "Oxidation of polyunsaturated fatty acid*" OR "Oxidized polyunsaturated fatty acid*" OR "Oxidized polyunsaturated fat*" OR "Oxidized duck fat*" OR "Oxidized goose fat*")

Equation de recherche sur Pubmed (réalisée le 16 mai 2024)

("Oxidized duck lipid*" OR "Oxidized goose lipid*")

Equation de recherche sur Pubmed (réalisée le 21 mai 2024)

("Composition of duck fat*" OR "Composition of goose fat*" OR "Duck fat* composition" OR "Goose fat* composition")

Equation de recherche sur Scopus (réalisée le 11 juin 2024)

("Composition of duck fat*" OR "Composition of goose fat*" OR "Duck fat* composition" OR "Goose fat* composition")

Equation de recherche sur Pubmed (réalisée le 11 juin 2024)

("Composition of duck lipid*" OR "Composition of goose lipid*" OR "Duck lipid* composition" OR "Goose lipid* composition")

Equation de recherche sur Scopus (réalisée le 11 juin 2024)

("Composition of duck lipid*" OR "Composition of goose lipid*" OR "Duck lipid* composition" OR "Goose lipid* composition")

Equation de recherche sur Scopus (réalisée le 27 novembre 2024)

("Danger*" AND "Oxidised fat*")

Choix de mots-clés

Les discussions sur le choix des mots-clés à retenir ont eu lieu lors de la réunion des rapporteurs du 26 avril 2024. La liste définitive des mots-clés a ensuite été finalisée (Annexe

1) lors de la deuxième réunion des experts rapporteurs le 17 juin 2024. La coordination et les experts ont décidé de ne pas inclure les mots-clés (en anglais) : « hazard* » et « toxic* » dans la liste finale. Ce choix a été basé sur le fait qu'en utilisant ces derniers, cela générerait des articles seulement sur l'exposition aux dangers, au lieu d'identifier des dangers liés à l'oxydation de graisses de palmipèdes.

Critères d'inclusion et d'exclusion :

Les critères d'inclusion définis pour la sélection des articles sont les suivants :

- articles décrivant un danger associé à l'oxydation de graisses de canard/d'oie et/ou les produits secondaires d'oxydation.

Ont également été retenus pour renseigner les autres parties de la note d'AST :

- les articles décrivant la composition des graisses de canard/d'oie. Les articles comportant une comparaison avec les graisses bovines et porcines ont aussi été inclus ;
- les articles détaillant les mécanismes d'oxydation des acides gras, les produits secondaires d'oxydation, et éléments d'information sur leur impact néfaste sur la santé humaine ;
- les articles relatifs aux méthodes analytiques de suivi de l'oxydation des graisses, incluant la formation de peroxydes et/ou de produits secondaires d'oxydation.

Les critères d'exclusion définis pour la sélection des articles sont les suivants :

- articles basés sur la viande de canard et d'oie au lieu de graisses de canard/d'oie ;
- articles décrivant des huiles/graisses qui n'ont pas les mêmes acides gras que les graisses de palmipèdes ;
- articles décrivant les méthodes d'analyse qualitative et pas quantitatives, ni précisant quel oxydant présent (ex. Chimiluminescence) ;
- articles qui contiennent la recherche sur les graisses en générale et/ou la différence entre les différents types de graisses et acides gras (saturés et insaturés) ;
- articles qui concluent que les graisses oxydées changent seulement la couleur et/ou les propriétés organoleptiques ;
- « Duckweed » (des lentilles d'eau en français)°;
- articles rédigés dans des langues autres que français et anglais°;
- articles décrivant l'effet d'un type d'anti-oxydant ou une méthode qui inhibe l'oxydation des graisses ;
- articles concernant l'effet de la friture et les produits néoformés produits associées.