

anses

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en acides gras des produits animaux destinés à l'Homme

Rapport d'expertise collective

Mai 2011

Édition scientifique



**anses**

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en acides gras des produits animaux destinés à l'Homme

Rapport d'expertise collective

Mai 2011

Édition scientifique

**Impact des pratiques en alimentation animale  
sur la composition en acides gras  
des produits animaux destinés à l'Homme**

**Mai 2011**



## COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

---

### **Président**

M. Philippe SCHMIDELY (AgroParisTech, Paris) (Président du CES « Alimentation animale »)

### **Contributeurs du groupe de travail**

#### Experts membres du Comité d'experts spécialisé « Alimentation animale » 3<sup>ème</sup> mandat

M. Philippe BRUNSCHWIG (Institut de l'Élevage, Angers)

M. Francis ENJALBERT (ENVT, Toulouse)

M. Michel ETIENNE (INRA, Saint-Gilles)

M. Michel LESSIRE (INRA, Nouzilly)

M. Daniel SAUVANT (AgroParisTech, Paris)

#### Expert membre du Comité d'experts spécialisé « Nutrition humaine » 3<sup>ème</sup> mandat

M. Jean-Michel CHARDIGNY (INRA, Clermont-Ferrand)

#### Experts non membres de CES

M. Dominique BAUCHART (INRA, Theix)

M. Yves CHILLIARD (INRA, Theix)

Mme Dominique HERMIER (INRA, Paris)

M. Pierre JUANEDA (INRA, Dijon)

M. François LEBAS (Retraité)

M. Claude-Louis LEGER (Retraité)

M. Jacques MOUROT (INRA, Saint-Gilles)

M. Gérard PIERONI (Retraité)

### **Représentants de l'industrie auditionnés ou consultés**

AFCA-CIAL (Association française des fabricants de compléments pour l'alimentation animale)

Association Bleu-Blanc-Cœur

Cetiom (Centre technique interprofessionnel des oléagineux métropolitains)

CNIEL (Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière)

CIV (Centre d'information des viandes)

ONIDOL (Organisation nationale interprofessionnelle des oléagineux)

Sopropêche

SNIA (Syndicat national des industriels de la nutrition animale)

SNIV (Syndicat national de l'industrie des viandes)

SYNCOPAC (Syndicat national des coopératives de production et d'alimentation animales)

SYNPA (Syndicat national des producteurs d'additifs et d'ingrédients de la chaîne alimentaire)

### **Relecteur membre du groupe de travail**

Expert membre du Comité d'experts spécialisé « Alimentation animale »

M. François MESCHY (INRA, Paris)

### **Relecteurs membres du CES « Alimentation animale » 3<sup>ème</sup> mandat**

Mme Corine BAYOURTHE (ENSAT, Toulouse)

M. François GROSJEAN (Retraité)

M. Hervé JUIN (INRA, Surgères)

M. Stefan JURJANZ (ENSAIA, Vandoeuvre les Nancy)

### **Relecteurs membres du CES « Nutrition humaine » 3<sup>ème</sup> mandat**

M. Pierre-Olivier ASTORG (INRA, Jouy en Josas)

M. Jean-Marie BARD (Praticien hospitalier, Nantes)

Mme Mariette GERBER (retraîtée)

M. Jean-Michel LECERF (Institut Pasteur, Lille)

M. Philippe LEGRAND (Agrocampus Ouest, Rennes)

M. Ambroise MARTIN (Faculté de médecine Grange Blanche, Lyon)

Mme Annie QUIGNARD-BOULANGE (INRA, Paris)

M. Jean-Luc VOLATIER (Anses, Paris)

### **Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

Coordinatrices scientifiques principales :

Mme Emmanuelle BOURGEOIS (UERASA, DER, Maisons-Alfort)

Mme Esther KALONJI (UERN, DER, Maisons-Alfort)

Coordinatrices scientifiques :

Mme Céline DUMAS (UERN, DER, Maisons-Alfort)

Mme Anne MANACH (UERASA, DER, Maisons-Alfort)

Mme Landy RAZANAMAHEFA (UERN, DER, Maisons-Alfort)

Mme Sandrine VALENTIN (UERASA, DER, Maisons-Alfort)

Chefs d'unité :

Mme Edith AUTHIE (UERASA, DER, Maisons-Alfort)

Mme Irène MARGARITIS (UERN, DER, Maisons-Alfort)

## Sommaire

Composition du groupe de travail.....	3
Abréviations.....	18
<b>Introduction générale.....</b>	<b>20</b>
Contexte général.....	20
Réflexion du groupe de travail.....	20
<b>A. Etat général des connaissances sur les acides gras en alimentation humaine .....</b>	<b>22</b>
1. Généralités sur les acides gras, part des lipides dans le régime et aliments contributeurs à l'apport de lipides .....	22
1.1. Structure et forme chimique .....	22
1.2. Apports nutritionnels conseillés .....	23
1.3. Limite d'apport en AG <i>trans</i> .....	27
1.4. Aliments contributeurs à l'apport de lipides en France .....	28
1.5. Lipides d'origine animale consommés en fonction des classes d'âge de la population.....	30
2. Les AG saturés .....	33
2.1 Apports en AGS.....	33
2.2 Aliments contributeurs .....	34
2.3 AGS – santé humaine.....	34
3. Les AG <i>trans</i> , les CLA.....	34
3.1. Apports en AG <i>trans</i> .....	34
3.2. Aliments contributeurs.....	34
3.3. AG <i>trans</i> , CLA et risque cardiovasculaire .....	35
3.4. CLA et résistance à l'insuline .....	36
3.5. AG <i>trans</i> , CLA et risque de cancers .....	36
3.6. AG <i>trans</i> , CLA et inflammation .....	36
4. Les AGMI <i>cis</i> .....	37
4.1. Apports en AGMI <i>cis</i> .....	37
4.2. Aliments contributeurs.....	37
4.3. AGMI <i>cis</i> et santé humaine .....	37
5. Les AGPI n-3 et n-6.....	37
5.1. Apports en AGPI .....	37
5.2. Aliments contributeurs.....	38
5.3. AGPI n-3 et n-6 et santé humaine .....	39
6. Aspects analytiques .....	39
6.1. Méthodes de dosages.....	39
6.1.1. Extraction.....	39
6.1.2. Dérivation .....	39
6.1.3. Chromatographie en phase gazeuse .....	40
6.1.4. Utilisation de la chromatographie en phase liquide pour le fractionnement des lipides et esters méthyliques .....	42
6.1.4.1. Fractionnement par chromatographie liquide haute performance .....	42

6.1.4.2.	Fractionnement par chromatographie au nitrate d'argent .....	43
6.1.4.2.1.	Chromatographie sur Couche Mince au nitrate d'argent .....	43
6.1.4.2.2.	Chromatographie Liquide Haute Performance au nitrate d'argent.....	43
6.1.5.	Autres techniques possibles.....	43
6.2.	Conclusion .....	44
<b>B</b>	<b>Digestion et métabolisme chez l'animal de rente .....</b>	<b>45</b>
1.	Monogastriques .....	45
1.1.	Digestion et absorption des lipides alimentaires.....	45
1.1.1.	Digestion .....	45
1.1.1.1.	Absorption .....	45
1.1.1.2.	Variabilité de la digestibilité .....	46
1.1.1.3.	Bilan de la digestion des AG .....	46
1.1.2.	Lipogenèse .....	47
1.1.3.	Métabolisme et stockage des AG .....	47
1.2.	Particularités chez le porc .....	47
1.3.	Particularités chez le lapin.....	48
1.4.	Particularités chez les volailles.....	48
1.4.1.	Synthèse endogène .....	49
1.4.2.	Stéatose hépatique des palmipèdes gavés (Foie gras).....	49
1.4.3.	Vitellogenèse .....	49
2.	Polygastriques .....	49
2.1.	Ruminants.....	49
2.1.1.	Digestion ruminale.....	50
2.1.1.1.	Lipolyse .....	50
2.1.1.2.	Biohydrogénation.....	50
	Modalités et intermédiaires.....	50
	Importance quantitative et facteurs de variation.....	52
	Importance qualitative et facteurs de variation.....	55
2.1.1.3.	Synthèse de lipides dans le rumen.....	55
2.1.1.4.	Effet des lipides sur les microorganismes du rumen .....	55
2.1.2.	Digestion intestinale et absorption .....	56
2.1.3.	Métabolisme hépatique et transport .....	56
2.1.4.	Métabolisme des tissus adipeux .....	56
2.1.5.	Métabolisme mammaire .....	57
2.1.5.1.	Prélèvement d'AG circulants .....	57
2.1.5.2.	Synthèse d'AG .....	57
2.1.5.3.	Désaturation des AG .....	57
2.1.6.	Conclusion.....	57
2.2.	Préruminants.....	58
2.2.1.	Digestion et transport sanguin des lipides chez le veau préruminant .....	58
2.2.1.1.	Digestion et transport sanguin des AG alimentaires .....	58
2.2.1.2.	Les lipoprotéines : structure, synthèse/sécrétion .....	58
<b>C</b>	<b>Produits .....</b>	<b>60</b>
1.	Le lait et les produits laitiers .....	60
1.1.	Vache laitière .....	60

1.1.1.Considérations générales, composition moyenne du lait et variations saisonnières.....	60
1.1.1.1.Considérations générales .....	60
1.1.1.2.Principales classes de lipides .....	60
1.1.1.3.Profil moyen en AG du lait .....	60
1.1.1.3.1.Laits produits à partir de fourrages conservés.....	65
Profil en AGS .....	65
Profil en AGMI.....	65
Profil en AGPI-18C, en CLA, et en AGPI-LC .....	66
AGPI octadécadiénoïques.....	66
AGPI octadécatriénoïques .....	66
AGPI-LC des séries n-6 et n-3 .....	67
1.1.1.3.2.Variations saisonnières (beurres « d'été »).....	67
1.1.2.Effets des facteurs génétiques et physiologiques sur la composition en AG des lipides du lait .....	67
1.1.2.1.Race .....	67
1.1.2.2.Stade de lactation, fréquence de traite et bilan énergétique.....	67
1.1.3.Modification par l'alimentation de la composition en AG des lipides du lait .....	68
1.1.3.1.Effet d'une alimentation au pâturage .....	68
1.1.3.2.Effet de la nature des fourrages stockés .....	77
1.1.3.2.1.Foin et ensilage de graminées .....	78
1.1.3.2.2.Ensilage de légumineuses.....	79
1.1.3.2.3.Ensilage de maïs .....	79
1.1.3.3.Effet du pourcentage de concentré.....	79
1.1.3.4.Effet d'apports de lipides alimentaires .....	82
1.1.3.4.1.AG saturés et acide oléique.....	97
1.1.3.4.2.AG polyinsaturés.....	98
Acide linoléique .....	98
Acide alpha-linolénique et AG de la série n-3 .....	99
1.1.3.4.3.AG <i>trans</i> et acide linoléique conjugué (CLA).....	100
1.1.3.5.Interactions entre l'apport de lipides et les autres constituants de la ration (pourcentage de concentré et nature des fourrages).....	102
1.1.3.6.Apports de CLA de synthèse dans la ration des vaches laitières .....	105
1.1.3.6.1.Forme d'apport des CLA dans l'alimentation et transfert dans le lait .....	105
1.1.3.6.2.Effet sur le TB du lait et sur le profil en AG de la MG .....	108
1.1.4.Conclusion.....	110
1.2. Brebis et chèvre laitières .....	110
1.2.1.Données générales.....	110
1.2.2.Composition moyenne en lipides du lait de brebis et de chèvre .....	111
1.2.2.1.Principales classes de lipides .....	111
1.2.2.2.Profil moyen en AG du lait .....	111
1.2.2.2.1.Profil en AGS.....	116
1.2.2.2.2.Profil en AGMI .....	116
1.2.2.2.3.Profil en AGPI-18C, en CLA, et en AGPI-LC.....	117
AGPI octadécadiénoïques .....	117
AGPI octadécatriénoïques .....	118

AGPI-LC des séries n-6 et n-3.....	118
1.2.3.Modification de la composition en AG de la MG laitière par l'alimentation .....	118
1.2.3.1.Effet d'une alimentation au pâturage .....	118
1.2.3.1.1.AGPI-LC des séries n-6 et n-3 .....	119
1.2.3.1.2.Profil en AGPI <i>cis</i> et CLA .....	119
1.2.3.1.3.AGPI 18:2 .....	119
AG non conjugués .....	119
AG conjugués .....	120
1.2.3.1.4.Profil en AGMI .....	121
1.2.3.1.5.Profil en AGS.....	121
1.2.3.2.Effet de la nature des fourrages stockés .....	121
1.2.3.3.Effet du pourcentage de concentré.....	122
1.2.3.4.Effet des apports de lipides et interaction avec les autres constituants de la ration : pourcentage de concentré et nature des fourrages.....	122
1.2.3.4.1.Les huiles de poissons et les algues marines .....	122
1.2.3.4.2.Les apports alimentaires de CLA de synthèse .....	123
1.2.3.4.3.Les apports alimentaires de matières grasses végétales.....	124
Profil en AGPI-18C et CLA .....	124
<i>Proportion de l'ALA</i> .....	124
<i>Proportion du LA</i> .....	126
<i>Proportion des CLA</i> .....	127
Profil des AG <i>trans</i> .....	128
Profil des AG <i>cis</i> .....	128
Profil en AGS .....	129
1.2.4.Effet « animaux » .....	130
1.2.4.1.Variants génétiques pour les caséines du lait .....	130
1.2.4.2.Effets de la race.....	130
1.2.4.3.Facteur de variation individuelle.....	130
<b>2. La viande et les produits carnés .....</b>	<b>131</b>
2.1. Ruminant (bovin, agneau) et préruminant (veau de boucherie).....	131
2.1.1.Viande bovine .....	131
2.1.1.1.Composition moyenne en lipides des viandes et des abats .....	131
2.1.1.1.1.Teneurs en lipides totaux, lipides neutres et polaires et AG totaux .....	131
2.1.1.1.2.Composition en AG des lipides totaux .....	134
2.1.1.2.1.AG saturés .....	134
AG saturés linéaires.....	134
AG saturés ramifiés .....	138
2.1.1.2.2.AG monoinsaturés.....	138
AG monoinsaturés <i>cis</i> .....	138
AG monoinsaturés <i>trans</i> .....	138
2.1.1.2.3.AG polyinsaturés.....	138
Acides octadécadiénoïques non conjugués.....	138
Acides octadécadiénoïques conjugués.....	139
Acides octadécatriénoïques .....	139
AG polyinsaturés n-6 et n-3 à longue chaîne.....	141

2.1.1.3.Effets de l'âge, du sexe et de la race des bovins sur les teneurs en lipides des viandes .....	142
2.1.1.4.Modification de la composition en AG des viandes par l'alimentation .....	143
2.1.1.4.1.Effets de la composition de la ration de base .....	143
Effets de rations à base de fourrages .....	143
Effets de l'équilibre fourrages/aliments concentrés des rations .....	145
2.1.1.4.2.Effets des suppléments lipidiques des rations .....	148
Effets des graines oléagineuses .....	148
<i>Intérêt de l'emploi des sources végétales d'AGPI</i> .....	148
<i>Graines de lin riches en AGPI n-3</i> .....	148
<i>Graines de lin riche en AGPI n-3 et vitamine E</i> .....	149
<i>Autres sources d'AGPI</i> .....	149
Effets des lipides protégés .....	150
2.1.1.5.Effets des AG alimentaires sur la composition nutritionnelle des AG du foie et de la viande de veau de boucherie .....	150
2.1.2.Viande ovine .....	154
2.1.2.1.Composition moyenne en lipides des viandes .....	154
2.1.2.1.1.Teneurs en lipides totaux, lipides neutres et polaires et AG totaux .....	154
2.1.2.1.2.Composition en AG des lipides, phospholipides et triglycérides totaux .....	158
AG saturés .....	158
AG monoinsaturés .....	158
<i>AG monoinsaturés cis</i> .....	158
<i>AG monoinsaturés trans</i> .....	158
AG polyinsaturés .....	159
<i>Acides octadécadiénoïques non conjugués</i> .....	159
<i>Acides octadécadiénoïques conjugués</i> .....	159
<i>Acides octadécatriénoïques</i> .....	159
<i>AG polyinsaturés n-6 et n-3 à longue chaîne</i> .....	159
2.1.2.1.3.Effets des suppléments lipidiques riches en AGPI sur les AG de la viande .....	160
Effets de l'apport de sources riches en AGPI n-3 .....	160
Effets de l'apport de sources riches en LA .....	161
2.2. Viande de porc.....	161
2.2.1.Niveau d'alimentation .....	163
2.2.2.Castration .....	163
2.2.3.Environnement climatique.....	164
2.2.4.Type génétique .....	164
2.2.5.Taux et nature des matières grasses de l'aliment .....	165
2.2.6.Mode de production .....	167
2.2.7.Perspectives en mode de production porcine .....	168
2.3. Viande de lapin .....	171
2.3.1.Composition corporelle, teneur en lipides et composition en AG .....	171
2.3.2.Composition en AG des aliments et composition de la viande de lapin .....	173
2.3.2.1.Enrichissement en ALA .....	173
2.3.2.2.Enrichissement en DHA et EPA.....	174
2.3.2.3.Durée des effets alimentaires .....	175

2.4. Viande de volailles .....	175
2.4.1.Composition corporelle, teneur en lipides et composition en AG .....	175
2.4.2.Modulation de la composition en AGPI : stratégies alimentaires .....	177
2.4.2.1.Influence sur les performances zootechniques .....	177
2.4.2.1.1.Poulet .....	177
2.4.2.1.2.Autres espèces .....	180
2.4.2.2.Teneur en MG des produits.....	180
2.4.2.2.1.Poulet .....	180
2.4.2.2.2.Autres espèces .....	180
2.4.2.3.Composition en AG des produits.....	180
2.4.2.3.1.Utilisation de MG riches en AGPI n-3.....	182
2.4.2.3.2.Utilisation de MG riches en ALA .....	182
2.4.2.3.3.Utilisation de MG riches en AGPI-LC n-3.....	187
2.4.2.4.Conséquences sur la qualité des produits .....	188
2.4.2.4.1.Peroxydation des produits frais et congelés.....	188
2.4.3.Enrichissement des viandes de volailles en CLA : stratégies alimentaires .....	188
2.5. Les œufs .....	190
2.5.1.Généralités .....	190
2.5.2.Aspects analytiques particuliers.....	190
2.5.3.L'œuf « moyen » .....	191
2.5.3.1.Aspects quantitatifs .....	191
2.5.3.2.Composition en AG .....	191
2.5.3.3.Répartition des AG par espèce lipidique .....	192
2.5.4.Modification de la composition en AG de l'œuf .....	192
2.5.4.1.Les facteurs de modification non alimentaires .....	192
2.5.4.1.1.La souche et l'âge des pondeuses .....	192
2.5.4.1.2.La durée d'application du régime.....	192
2.5.4.2.Les facteurs de modification alimentaires.....	192
2.5.4.2.1.Les apports en AGPI n-6.....	192
2.5.4.2.2.Les apports en AGPI n-3.....	192
2.5.4.2.3.Répartition et régio-localisation des AG par espèce lipidique .....	193
2.5.4.2.4.Les apports en CLA.....	193
2.5.4.2.5.Répartition des CLA et localisation par espèce lipidique.....	194
2.5.5.Les apports en anti-oxydants .....	196
<b>D Incidence des pratiques alimentaires en élevage sur la consommation des acides gras issus des denrées d'origine animale terrestre. Implications sur les apports nutritionnels de l'Homme .....</b>	<b>197</b>
1. Le lait et produits laitiers.....	197
1.1. Rappel du contexte .....	197
1.2. Rappel des pratiques alimentaires étudiées.....	198
1.3. Modification des systèmes fourragers et/ou des fourrages des rations .....	198
1.4. Influence de la proportion d'aliments concentrés au sein des rations.....	208
1.5. Influence de l'apport de graines d'oléo-protéagineux dans les rations.....	209
1.6. Effet de l'apport de CLA.....	214
2. La viande de porc .....	216

2.1.	Cas du lin.....	217
2.1.1.	Population adulte.....	217
2.1.2.	Population d'enfants .....	218
2.2.	Cas du colza .....	218
2.2.1.	Population adulte.....	218
2.2.2.	Population d'enfants .....	218
3.	La viande bovine .....	219
3.1.	Variations de la composition en AG des denrées.....	219
3.2.	Impact de ces variations sur l'apport nutritionnel chez l'Homme .....	227
4.	La viande de volailles.....	227
4.1.	Substitution par l'huile de lin.....	229
4.2.	Substitution par les graines de lin .....	229
5.	L'œuf.....	230
5.1.	Variations de la composition en AG de l'œuf en fonction de la pratique alimentaire.....	230
5.1.1.	L'œuf source de DHA.....	230
5.1.2.	L'œuf source d'ALA .....	230
5.2.	Impact des pratiques alimentaires d'élevage sur la consommation de DHA et d'ALA .....	231
5.2.1.	Huile de poisson.....	231
5.2.2.	Graines oléagineuses .....	231
<b>Synthèse et recommandations .....</b>		<b>233</b>
1.	Considérations sur la faisabilité de la modification de la composition des produits animaux par les pratiques d'élevage.....	233
2.	Impacts potentiels de modifications spécifiques des pratiques d'alimentation des animaux en condition de terrain sur l'ingestion des différents AG chez l'Homme.....	236
3.	Limites du rapport.....	238
4.	Recommandations .....	241
Bibliographie.....		244
Annexe 1 .....		262
Annexe 2 .....		267
Annexe 3 .....		268
Annexe 4 .....		269
Annexe 5 .....		270

## Illustrations

Tableaux 1 : Tableaux synthétiques des ANC (Afssa, 2010 a).....	25
Tableau 2 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez les enfants ou les adultes selon l'enquête INCA1 ....	29
Tableau 3 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez plusieurs classes d'âge et de sexe parmi les adultes (15 ans et plus) selon l'enquête INCA1.....	31
Tableau 4 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez plusieurs classes d'âge et de sexe parmi les enfants (3-14 ans), selon l'enquête INCA1 .....	32
Tableau 5 : Principaux vecteurs lipidiques d'origine animale chez l'enfant (3-14 ans) et l'adulte (> 15 ans) – d'après l'enquête INCA1 .....	33
Tableau 6 : Ordre d'éluion des 18:2 et 18:3 sur DBwax et BPX70. ....	41
Tableaux 7 : Digestion ruminale des AG.....	53
Tableau 8 : Composition moyenne en AG du lait de vache (données obtenues en conditions expérimentales avec des rations à base de fourrages conservés) (121 lots de vaches, 79 publications, Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b).....	61
Tableau 9 : Composition moyenne en AG de 54 beurres français <sup>1</sup> , et variations en hiver et en été (g d'AG/100 g beurre) (calculé d'après Ledoux <i>et al.</i> , 2003). ....	63
Tableau 10 : Teneurs en AG <i>trans</i> dans 1756 beurres allemands (Precht et Molkentin, 2000).....	66
Tableau 11 : Effets de rations à base d'herbe ou d'ensilage de trèfle sur les principaux AGPI du lait de vache <sup>1</sup> .....	69
Tableau 12 : Caractéristiques des "troupeaux moyens" correspondant à 9 variantes de régime alimentaire, en Haute-Loire (Agabriel <i>et al.</i> , 2004). ....	72
Tableau 13 : Composition en AG de laits de citerne (10 à 36 troupeaux par tournée) selon 9 variantes de régime alimentaire <sup>1</sup> en Haute-Loire (Ferlay <i>et al.</i> , 2008). ....	73
Tableau 14 : Composition moyenne (g/100 g d'AG totaux) et variabilité des AG du lait de 12 lots de vaches recevant du pâturage comme seul fourrage (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b).....	76
Tableau 15 : Effets de rations à base de différents fourrages sur la composition en AG du lait de vache (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b) <sup>1</sup> .....	77
Tableau 16 : Effets de l'augmentation du pourcentage de concentrés, dans des rations soit riches, soit pauvres en fourrages sur la composition en AG du lait de vache (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b)....	80
Tableau 17 : Effets de la supplémentation lipidique sur la production et la composition du lait de vache.....	82
Tableau 18 : Effets de suppléments en huile de poisson et en huiles et graines oléagineuses sur la teneur des principaux AG du lait de vache (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a,b) <sup>1</sup> . ....	84
Tableau 19 : Effets de suppléments en huile de poisson et en huiles et graines oléagineuses sur les teneurs des isomères de 18:1 et 18:2 dans le lait de vache (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a,b) <sup>1</sup> .....	89
Tableau 20 : Effets comparés d'huiles ou graines oléagineuses protégées <sup>1</sup> et de graines non protégées <sup>2</sup> sur les teneurs en AG du lait de vache (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a,b).....	92
Tableau 21 : Effets <sup>(1)</sup> de la supplémentation en huiles ou graines oléagineuses sur la production laitière, le TB, la sécrétion de matières grasses et la composition en AG du lait de vache (revue de Chilliard et Ferlay, 2004). ....	95
Tableau 22 : Effet de la nature du fourrage et du supplément lipidique [huile de tournesol (HT) ou de lin (HL) en % MS ingérée] sur la production de lait, le TB et la composition en AG (% AG totaux) du lait de vache (d'après Chilliard <i>et al.</i> , 2007) <sup>1</sup> .....	96
Tableau 23 : Réponses des principaux AG du lait de vache en fonction de la teneur de la ration ingérée (MSI) en LA ou en ALA (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b) .....	96
Tableau 24 : Teneurs en AG du lait de vaches recevant une ration riche en ensilage de maïs ou riche en concentrés, et supplémentation en oléagineux* (Glasser <i>et al.</i> , 2008 a et b). ....	104
Tableaux 25 : Composition des mélanges de CLA apportés dans l'alimentation des vaches laitières et effet de leur apport sur les variations du profil en AG du lait de vache .....	106

Tableau 26 : Profils moyens en AG du lait de chèvre obtenus à partir de l'analyse de lait de mélange, de troupeau ou issus d'une base de données. ....	112
Tableau 27 : Profils moyens en AG du lait de brebis obtenus à partir de l'analyse de lait de mélange ou issus de la base de données.....	114
Tableau 28 : Effet de l'apport d'huiles végétales protégées ou non sur la variation des proportions (Ecart entre lots recevant des huiles et lots témoins, % des AG totaux) de certains AG dans le lait chez la brebis et la chèvre <sup>1</sup> . ....	125
Tableau 29 : Effet de l'apport de graines végétales protégées ou non sur la variation des proportions (Ecart entre lots recevant des graines et lots témoins, % des AG totaux) de certains AG dans le lait chez la brebis et la chèvre <sup>1</sup> .....	126
Tableau 30 : Teneurs (% de tissu frais) en lipides totaux, en AG totaux, en lipides polaires et neutres totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de races Charolaise et Holstein (Bauchart, 2008 ; données CIV 2007).....	132
Tableau 31 : Composition centésimale en AGS et AGMI des lipides totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de race charolaise (1 <sup>ère</sup> valeur) et FFPN (2 <sup>ème</sup> valeur) (Bauchart, 2008 et données CIV 2007). ....	135
Tableau 32 : Composition en AGS et AGMI des lipides totaux des principaux abats consommés par l'Homme issus de vaches de réforme en finition de race charolaise (1 <sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2 <sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 et Données CIV 2007). ....	137
Tableau 33 : Composition en AGPI et valeurs de différents rapports de familles d'AG des lipides totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de race charolaise (1 <sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2 <sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 ; données CIV 2007). ....	140
Tableau 34 : Composition en AGPI et valeurs de différents rapports de familles d'AG des lipides totaux des principaux abats consommés par l'Homme issus de vaches de réforme en finition de race charolaise (1 <sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2 <sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 et Données CIV 2007). ....	141
Tableau 35 : Variations de la teneur en lipides totaux (% tissu frais) des muscles <i>longissimus thoracis</i> (LT), <i>semitendinosus</i> (ST) et <i>triceps Brachii</i> (TB) chez le bovin Charolais selon le sexe et l'âge (d'après Bauchart <i>et al.</i> , 2002 a et b ; Picard <i>et al.</i> , 2002).....	142
Tableau 36 : Effets de la race et de la ration de base sur la teneur en AGPI des AG des lipides totaux du muscle <i>longissimus thoracis</i> chez le bovin en finition (d'après Nuernberg <i>et al.</i> , 2005 a). ....	143
Tableau 37 : Effets de la durée de consommation d'herbe au pâturage sur la composition en AG des lipides du muscle <i>longissimus thoracis</i> chez la génisse à viande (d'après Noci <i>et al.</i> , 2005 a)..	144
Tableau 38 : Variation de la teneur en différents isomères trans de l'acide linoléique conjugué des lipides du muscle <i>longissimus thoracis</i> en fonction de la race (R) et du type d'alimentation (A) chez le bovin (d'après Dannenberger <i>et al.</i> , 2005). ....	144
Tableau 39 : Variation de la teneur (mg/100 g tissu frais) en différents isomères du 18:1 <i>trans</i> des lipides du muscle <i>longissimus thoracis</i> selon le type d'alimentation chez le taurillon de race Holstein (d'après Dannenberger <i>et al.</i> , 2004). ....	145
Tableau 40 : Effets du type de ration, du supplément lipidique par des graines de lin extrudées et du supplément en vitamine E sur la composition en AG des lipides totaux (% des AG totaux) du muscle <i>Rectus abdominis</i> (bavette de flanchet) chez le taurillon Charolais (n=7 /traitement pendant 97 jours) (d'après Bauchart <i>et al.</i> , 2004). ....	147
Tableau 41 : Effet de la ration de base (foin/concentré 45/55) et d'un supplément lipidique (4 % matière sèche) riche en AGPI n-3 (graines de lin extrudées) sur les AG des lipides neutres et des lipides polaires du muscle <i>Rectus abdominis</i> (bavette de flanchet) chez le taurillon Charolais x Salers en finition (d'après Bauchart <i>et al.</i> , 2003). ....	148
Tableau 42 : Variation de la teneur en acide ruménique (18:2 9c,11t) (mg/100 g tissu frais) du muscle <i>longissimus thoracis</i> en fonction de la race et du type d'animal et de son alimentation chez le bovin (d'après Scollan <i>et al.</i> , 2005). ....	149
Tableau 43 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides, phospholipides et lipides totaux du foie chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (d'après Leplaix-Charlat, 1995).....	151
Tableau 44 : Composition centésimale en AG majeurs (% AG totaux) des triglycérides et des phospholipides du foie chez des veaux recevant un régime lacté à base de suif (SU), d'huile de	

soja (SO), d'huile de coprah (CO), d'huile de coprah hydrogénée (COH) ou d'un mélange 95 % huile de coprah hydrogénée – 5 % huile de maïs (COHM) (d'après Leplaix-Charlat, 1995 et Leplaix-Charlat et al., 1996 ; Bauchart <i>et al.</i> , 1999 ; Jenkins et Kramer, 1986). .....	152
Tableau 45 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides, des phospholipides et des lipides totaux du muscle <i>Rectus abdominis</i> chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (d'après Leplaix-Charlat, 1995). .....	152
Tableau 46 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides et phospholipides du muscle <i>Rectus abdominis</i> chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (SU), de soja (SO) ou d'huile de coprah (CO) (d'après Leplaix-Charlat, 1995 et Bauchart <i>et al.</i> , 1999). .....	153
Tableau 47 : Teneurs en lipides et en AG totaux et composition centésimale en AG des lipides totaux du muscle long dorsal ( <i>longissimus thoracis</i> ) en fonction du mode d'alimentation chez des agneaux mâles de race Ile-de-France <sup>1</sup> . .....	154
Tableau 48 : Composition en différents isomères <i>trans</i> du 18:1 (en % des 18:1 <i>trans</i> ) des AG du muscle <i>longissimus thoracis</i> chez l'agneau après sevrage, nourri au pâturage ou recevant une ration à base d'aliment concentré (d'après Nuernberg <i>et al.</i> , 2005 b). .....	155
Tableau 49 : Composition en différents isomères <i>trans</i> de l'acide linoléique conjugué (en % des CLA totaux) des AG du muscle <i>longissimus thoracis</i> chez l'agneau après sevrage, nourri au pâturage ou recevant une ration à base d'aliment concentré (d'après Nuernberg <i>et al.</i> , 2005b). .....	156
Tableau 50 : Teneur, composition centésimale en AG et valeurs de différents rapports de familles d'AG des phospholipides totaux du muscle long dorsal ( <i>longissimus thoracis</i> ) chez des agneaux mâles de race Ile-de-France recevant un régime à base d'herbe ou à base de foin et de concentré <sup>1</sup> . .....	156
Tableau 51 : Teneur, composition centésimale en AG et valeurs de différents rapports de familles d'AG des triglycérides totaux du muscle long dorsal ( <i>longissimus thoracis</i> ) chez des agneaux mâles de race Ile-de-France recevant un régime à base d'herbe ou à base de foin et de concentré <sup>1</sup> . .....	157
Tableau 52 : Effet du type de matières grasses alimentaires sur la teneur en AG totaux et sur le profil en AG des lipides totaux du <i>longissimus thoracis</i> chez des moutons de race Suffolk <sup>1</sup> . .....	160
Tableau 53 : Teneur en lipides (% du poids frais) de différents tissus de la carcasse de porc ou de produits de charcuterie fabriqués à partir de ces tissus. ....	162
Tableau 54 : Composition moyenne des principaux gras de la viande de porc standard (en % AG). .....	162
Tableau 55 : Importance des facteurs d'élevage sur la quantité et la qualité des AG déposés dans la viande de porc. ....	163
Tableau 56 : Composition en AG (moyenne + écart-type) du tissu adipeux sous-cutané dorsal en fonction des races locales, exprimée en % des AG identifiés. ....	165
Tableau 57 : Composition en AG de différents tissus gras ou maigres en fonction de la matière grasse utilisée dans l'aliment du porc. ....	166
Tableau 58 : Effets du régime sur les caractéristiques des carcasses de porc. ....	167
Tableau 59 : Effet de l'apport d'huile ou de graines lin sur les quantités d'AG déposés dans le muscle (en mg d'AG par 100 g de muscle <i>longissimus dorsi</i> ). .....	168
Tableau 60 : Effet de la nature de l'huile ajoutée au régime sur la teneur en AG du tissu adipeux sous-cutané dorsal à 105 kg (en mg d'AG pour 100 g de tissu adipeux). .....	169
Tableau 61 : Régressions linéaires [AG déposé (mg/100 g de tissu) = a x ALA (g/kg d'aliment) + b] calculées à partir de 20 doses différentes d'ALA ingéré. Pour chaque dose, le lot était constitué de 10 à 16 porcs. ....	170
Tableau 62 : Régressions linéaires [CLA déposé (mg/100 g de tissu) = a x CLA ingéré (g/kg d'aliment)] calculées à partir de 21 doses différentes de CLA ingéré. ....	171
Tableau 63 : Composition moyenne en AG de la viande de lapin recevant une alimentation classique, principalement à base de luzerne, son de blé, céréales (orge, blé), tourteaux de tournesol ou de soja (moyennes correspondant aux aliments de référence de 19 publications). ....	172
Tableau 64 : Teneur en lipides et composition en lipides et en AG de différents tissus chez des poulets [femelles (chiffre de gauche) et mâles (chiffre de droite)] recevant un régime standard et abattus à 42 jours (Ratnayake <i>et al.</i> , 1989). .....	176
Tableau 65 : Effet du remplacement d'une MG riche en AGS par une source de lipides riche en AGPI sur les performances et la composition corporelle du poulet (0 : pas d'effet ; + : augmentation ; - :	

diminution). Les chiffres représentent les pourcentages significatifs de variation par rapport à la MG de référence. ....	178
Tableau 66 : Régressions entre la quantité d'AGPI apportés par l'aliment (x, en g/kg d'aliment) et la teneur en AG du produit (y, en g/kg de produit) (Cortinas <i>et al.</i> , 2004).....	182
Tableau 67 : Régressions (coefficient d'enrichissement et R <sup>2</sup> ) entre l'apport alimentaire d'ALA et sa teneur dans les tissus consommés du poulet et de la dinde (Rymer et Givens, 2005).....	183
Tableau 68 : Composition en AG de la viande de poulet en fonction des matières grasses alimentaires.....	185
Tableau 69 : Composition en AG de la viande de poulet suite au remplacement de tout ou partie des matières grasses alimentaires par des graines oléagineuses.....	186
Tableau 70 : Composition en AG (% poids/poids), des lipides totaux de l'œuf.....	191
Tableau 71 : Composition en AG (% poids/poids) des lipides totaux de l'œuf en réponse à différents apports en AG n-3.....	195
Tableau 72 A : Synthèse des effets des modifications des pratiques alimentaires sur les variations de consommations de certains AG ou groupes d'AG (mg/j) dans la population française <sup>1</sup> .....	201
Tableaux 73 : Effet de la modification des systèmes fourragers chez les bovins laitiers en période hivernale sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	204
Tableaux 74 : Effet de la modification des systèmes fourragers chez les bovins laitiers en période estivale sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	206
Tableau 75 : Effet de la réduction d'apport d'aliments concentrés chez les bovins laitiers sur la variation de consommation d'AG d'origine laitière (g/j) dans diverses catégories de la population française <sup>1,2</sup> .....	208
Tableau 76 : Effet d'apport de diverses graines d'oléo-protéagineux (3-4 % huile dans MS ration) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses classes de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	210
Tableau 77 : Effet de l'apport de graines de lin (3,5 % huile dans MS ration) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	212
Tableau 78 : Effet des rations riches en amidon (riches en ensilage de maïs ou en aliments concentrés) et supplémentées en lipides chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	213
Tableau 79 : Effet de l'apport de mélanges d'isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française <sup>1,2,3</sup> .....	215
Tableau 80 : Consommations actuelles moyennes de différents AG (mg/jour) de la viande de porc standard par l'Homme adulte et l'enfant.....	216
Tableau 81 : Evolution de la consommation d'AG en substituant la source de matière grasse témoin actuellement utilisée en élevage (palme ou coprah) par de la matière issue de graine ou d'huile de lin ou par de l'huile de colza.....	217
Tableau 82 : Apport (en mg/j) en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de l'emploi pour tous les bovins viande d'une ration à base d'herbe uniquement ou dans le cas d'un emploi généralisé de chaque ration majeure supplémentée ou non en graines oléagineuses extrudées (lin, tournesol).....	219
Tableau 83 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue de la vache de réforme recevant les rations majoritairement consommées en France en période estivale ou hivernale.....	220
Tableau 84 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour: 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue de bœufs et de génisses recevant les rations majoritairement consommées en France en période estivale ou hivernale.....	221

Tableau 85 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue du taurillon (jeune bovin) recevant les rations majoritairement consommées en France.....	222
Tableau 86 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des humains adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue du taurillon (jeune bovin) de type charolais recevant 100 % d'ensilage de maïs et d'aliment concentré et de type Blonde d'Aquitaine recevant 100 % d'aliment concentré et paille.....	222
Tableau 87 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux : 4896 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en période estivale (situation la plus fréquente).....	223
Tableau 88 : Apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des humains adultes (AG totaux : 4896mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en période hivernale. ....	224
Tableau 89 : Récapitulatif des caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux : 4896 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale. ....	224
Tableau 90 : Variation journalière d'AG consommés par les adultes (mg/j) apportés par la viande de bovins alimentés avec différents types de rations sous l'hypothèse d'une adoption de ces rations par 100 % des éleveurs, par rapport aux données d'apport moyen d'AG en période d'été ou d'hiver (différence des valeurs mesurées entre deux types de conduite alimentaire). ....	225
Tableau 91 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population des adultes âgés de plus de 65 ans (AG totaux : 3309 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale. ....	226
Tableau 92 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des enfants (AG totaux : 5241 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale.....	226
Tableau 93 : Influence d'une incorporation d'huile de lin dans l'alimentation des volailles sur les apports quotidiens (mg/jour) en AG provenant des viandes de volailles selon les catégories de population.....	228
Tableau 94 : Influence d'une incorporation de graines de lin dans l'alimentation des volailles sur les apports quotidiens (mg/jour) en AG provenant des viandes de volailles selon les catégories de population.....	228
Tableau 95 : Variations d'apports en AG (mg/jour) des différentes catégories de populations, engendrées par une consommation de viande de volailles dont l'alimentation aurait été enrichie en huile ou en graines de lin. ....	229
Tableau 96 : Caractéristiques des apports de l'œuf en différents AG, en mg/jour, pour la moyenne de l'ensemble des adultes (AG totaux : 1856 mg/jour, données INCA 1) en fonction de la nature des régimes alimentaires et de leur taux de mise en pratique. ....	231
Figure 1 : Nomenclatures des AG .....	22
Figure 2 : Principes de l'estérification et de la trans-estérification. ....	39
Figure 3 : Chromatogramme partiel d'esters méthyliques de lait avec une Supelcowax (A) et une Sil 88 (B).....	41
Figure 4 : Chromatogramme partiel d'EM de lait, colonne CP Sil 88 100 m.....	41
Figure 5 : Séparation par CLHP d'EM de lait. Chromatogramme partiel des fractions 18:1 par CPG. ....	43
Figure 6 : Voies de la biohydrogénation ruminale des acides oléique, linoléique et alpha-linolénique (d'après Harfoot et Hazlewood, 1988 ; Griinari et Bauman, 1999 ; Loor et <i>al.</i> , 2002 ; Proell et <i>al.</i> , 2002). ....	51

Figure 7 : Effets de la nature des fourrages sur les teneurs (% en AG totaux) du lait de vache en acides oléique, ruménique et alpha-linolénique (d'après Ferlay <i>et al.</i> , 2006).....	68
Figure 8 : Effets du régime de base et de la supplémentation en huile végétale sur la sécrétion de matières grasses du lait (a), et sur leur teneur (g/100 g AG totaux) en 10t,12c (b), 9t,11c (c) et 9c,11t (d) chez la vache recevant un régime "concentré-tournesol" (ligne continue), "ensilage de maïs-tournesol" (ligne en tirets) ou "foin-lin" (ligne pointillée) (adapté d'après Roy <i>et al.</i> , 2006).102	
Figure 9: Influence de la dose de 18:2 10t,12c et de sa présentation (X : témoin, ●: sels de Ca, ▲:amide, ◆: encapsulation, ■: formaldéhyde) sur les teneurs en 18:2 10t,12c du lait de vache. ....	107
Figure 10: Influence de la dose de 18:2 10t,12c et de sa présentation (X: témoin, ●: sels de Ca, ▲ :amide, ◆ : encapsulation, ■ : formaldéhyde) sur le TB du lait de vache. ....	108
Figure 11 : Fréquence des teneurs en DHA de la viande de lapin publiées par différents auteurs (n=26) d'après Combes (2004). ....	173
Figure 12 : Évolution de la teneur moyenne de la viande de lapin en ALA en fonction de la teneur en cet AG dans l'alimentation des lapins en engraissement. ....	174
Figure 13 : Cinétique d'incorporation du LA dans les triglycérides des muscles de la cuisse de poulet en fonction de la teneur en LA des lipides alimentaires et de l'âge. ....	181
Figure 14 : Cinétique d'incorporation de l'ALA dans les triglycérides du <i>Pectoralis major</i> de poulet en fonction de la teneur en ALA des lipides alimentaires et de l'âge. ....	181
Figure 15 : Poids vif du poulet en fonction de l'apport alimentaire en CLA. ....	189
Figure 16 : Incorporation du 18:2 9c,11t dans le filet (% des AG totaux) en fonction de l'apport alimentaire en CLA.....	190

## ABREVIATIONS

---

AET = apport énergétique total

Afssa = Agence française de sécurité sanitaire des aliments

AG = acide gras

AGMI = acide gras mono-insaturé

AGPI = acide gras poly-insaturé

AGPI-LC = acide gras poly-insaturé à longue chaîne

AGS = acide gras saturé

ALA = acide  $\alpha$  linoléique

ANC = apports nutritionnels conseillés

Anses = Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AOCS = American Oil Chemists' Society

ApoB = apolipoprotéine B

ARA = acide arachidonique

CCM = Chromatographie sur couche mince

C – HDL = HDL-cholestérol

CLA = conjugated linoleic acid (acide linoléique conjugué)

C – LDL = LDL-cholestérol

CLHP = chromatographie liquide de haute performance

CLnA = conjugated linolenic acid (acide alpha-linolénique conjugué)

CPG = Chromatographie en phase gazeuse

CPL = Chromatographie en phase liquide

Credoc = Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie

CRP = Protéine C-réactive

CT = cholestérol total

DHA = acide docosahexaénoïque

DPA = acide docosapentaénoïque

EFSA = Autorité européenne de sécurité des aliments

EM = ester méthylique

EPA = acide eicosapentaénoïque

ET = erreur type

ETR = écart-type résiduel

HDL = High Density Lipoprotein

IC = Intervalle de confiance

IL = Interleukine

INCA1 = Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires

LA = acide linoléique  
LDL = Low Density Lipoprotein  
MCV = Maladies cardiovasculaires  
MG = Matière grasse  
MS = Matière sèche  
MSI = matière sèche ingérée  
OR = odd ratio  
QTL = Quantitative Trait Loci  
RR = risque relatif  
SD = Standard deviation  
SEM = Erreur standard de la moyenne  
SU.VI.MAX = Supplémentation en vitamines et minéraux antioxydants  
TB = Taux butyreux  
TBARs = Thiobarbituric acid reactive substances  
TG = triglycérides  
TP = Taux protéique  
VLDL = Very Low Density Lipoprotein

# Introduction générale

---

## Contexte général

En France, la couverture des besoins en acides gras (AG) de la famille n-3 est insuffisante (Afssa, 2003) et les apports en acide linoléique (LA, famille des AG n-6) sont trop élevés par rapport à ceux en acide  $\alpha$ -linoléique (ALA, famille des AG n-3) (Razanamahefa *et al.*, 2005). Une consommation trop élevée en AG *trans* (Afssa, 2005 a et 2009 a) est susceptible d'avoir un impact négatif sur la santé.

Les denrées alimentaires issues d'animaux terrestres fournissent une part importante, voire majoritaire, des acides gras saturés (AGS), des AG *trans* et de l'ALA. La consommation de poissons a surtout été étudiée sous l'angle de source d'AGPI-LC n-3, et de manière notable d'acide eicosapentaénoïque (EPA) et d'acide docosahexaénoïque (DHA). Les aspects nutritionnels et sanitaires de la consommation des poissons, mollusques et crustacés par l'Homme ont fait l'objet d'un rapport dédié de l'Anses (2010) et d'un avis de l'Afssa (2010 b) portant sur les aspects de bénéfiques/risques de la consommation de poissons. Ce rapport portera donc uniquement sur les animaux terrestres.

Dans son rapport sur les « Risques et bénéfices pour la santé des AG *trans* apportés par les aliments et recommandations » (2005 a), l'Afssa recommandait qu'une réflexion réunissant des experts en nutrition animale et en nutrition humaine puisse préciser l'impact de différentes pratiques d'élevage sur les teneurs en acides gras des denrées d'origine animale.

Diverses pratiques d'élevage contribuent à modifier le profil en AG des lipides présents dans les produits d'origine animale. Quelques données récentes suggèrent en effet que l'alimentation des animaux de rente peut présenter un impact sur des indicateurs du statut nutritionnel chez l'Homme consommant des produits issus de ces animaux (Weill *et al.*, 2002 ; Burdge *et al.*, 2005 ; Seidel *et al.*, 2005 ; Bovet *et al.*, 2007).

L'évaluation de l'incidence des pratiques d'alimentation animale, concerne de très nombreuses variables parmi lesquelles : la nature de la ration de base, les AG consommés, le mode d'apport des aliments (ou nutriments), le type et l'ampleur de la modification des pratiques alimentaires en élevage, la nature de la denrée animale consommée. Ces pratiques constituent donc le thème principal de ce rapport.

Au côté des pratiques alimentaires d'élevage, d'autres facteurs sont susceptibles d'influer sur la teneur en lipides et le profil d'AG des produits animaux consommés. Ils sont liés à l'animal (race, espèce, stade de lactation, sexe, castration, activités physiques dues aux parcours, mécanismes et localisation des dépôts de lipides) et aussi, liés aux traitements technologiques des denrées. Ces derniers facteurs présentent un impact sur la quantité et le profil des AG consommés par l'Homme probablement plus faible que celui lié aux pratiques alimentaires des animaux. Par ailleurs, l'hétérogénéité des traitements technologiques industriels et ménagers rend difficile leur prise en compte. L'impact potentiel des modifications de composition des denrées issues d'animaux terrestres sur la consommation en AG de l'Homme a donc été recherché dans ce travail sans tenir compte de l'incidence des traitements technologiques industriels et ménagers.

## Réflexion du groupe de travail

La saisine (Annexe 1) de l'Afssa fixait donc pour objectifs :

- ☒ d'identifier et de caractériser chez les espèces terrestres de rente produisant des denrées animales la variabilité du profil en AG [AGS, AGMI, AGPI (n-3, n-6), AG *trans*, CLA] et les quantités de lipides déposés ou exportés en réponse aux différentes pratiques d'élevage constituées par :

- des facteurs alimentaires : apport quantitatif et qualitatif en AG, nature de la ration de base (ruminant), mode d'apport (aliment, complémentation alimentaire), interaction entre ces facteurs,
- des facteurs animaux : race, espèce, stade de lactation, localisation des lipides,
- des facteurs environnementaux non alimentaires (saison, mode d'élevage).

☒ de proposer des moyens de prédiction du profil en AG de la MG à partir de la composition de l'alimentation chez l'animal, et de proposer, si possible, des estimations de la teneur en AG *trans* totaux à partir des principaux isomères identifiés.

La méthode de travail mise en œuvre a pris en compte :

- L'audition des intervenants professionnels du secteur de l'alimentation animale ou du secteur de la transformation afin d'identifier leurs préoccupations concernant le choix des matières premières et le profil en AG des produits animaux. De ces auditions, il est ressorti que la principale préoccupation des professionnels était d'ordre économique intégrant la sécurisation en approvisionnement des matières premières et leur prix d'intérêt<sup>1</sup>, le profil en AG des matières premières et des produits animaux résultant n'étant pas actuellement leur priorité majeure,
- Les données actualisées des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras (Afssa, 2010 a),
- L'actualisation de la réflexion sur les méthodes de dosage des AG,
- L'identification et la qualification à partir de la bibliographie, chez les animaux de rente, des mécanismes d'origine digestive ou métabolique déterminant le profil en AG des produits,
- La quantification, lorsque ceci était possible, des lois de réponse du profil en AG des différents produits animaux aux variations d'apports quantitatifs et qualitatifs de l'alimentation et l'identification parmi cet ensemble de pratiques, de celles ayant la plus grande probabilité de mise en œuvre compte tenu du contexte socio-économique actuel,
- Pour réaliser une simulation, l'identification des espèces animales fortement contributrices à l'apport en lipides dans le régime alimentaire de l'Homme et la recherche d'information sur les profils lipidiques des produits animaux consommés. Ce choix des denrées animales s'est effectué essentiellement sur les données françaises de consommation moyenne de lipides issues d'INCA1. De ce fait, certaines denrées animales (viandes de lapin, de caprins, d'ovins et de volailles hors poulet et le lait des petits ruminants) n'ont pas été prises en considération dans cette partie, du fait de leur faible niveau moyen de consommation, et de données bibliographiques insuffisantes,
- La simulation à partir des données de consommation humaine, de l'impact des modifications des pratiques d'alimentation animale sur les consommations des AG chez l'Homme.

Ce rapport a été réalisé dans le cadre d'un groupe de travail et adopté par les CES « Alimentation animale » et « Nutrition humaine » en septembre et octobre 2008. Il a été mis à jour au regard des avis de l'Afssa relatifs à l'estimation des apports en acides gras *trans* dans la population française (Afssa, 2009 a ; Anses, 2011) et à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras (Afssa, 2010 a).

<sup>1</sup> Prix à partir duquel une matière première est incorporée dans un aliment formulé à moindre coût, compte tenu des caractéristiques nutritionnelles de cette matière première.

# A. Etat général des connaissances sur les acides gras en alimentation humaine

## 1. Généralités sur les acides gras, part des lipides dans le régime et aliments contributeurs à l'apport de lipides

### 1.1. Structure et forme chimique

Les acides gras (AG) sont constitués d'une chaîne carbonée, généralement linéaire, et à nombre pair d'atomes de carbone, dont l'un des carbones terminaux porte une fonction acide formant le groupement carboxylique -COOH. Les AG à nombre impair d'atomes de carbone et les AG ramifiés (iso, antéiso) ne seront pas envisagés dans ce chapitre car leurs effets chez l'Homme ne sont pas documentés.

Il existe plusieurs manières de désigner un AG : en nomenclature normalisée de chimie organique, les AG sont désignés à partir du radical alkyl correspondant (nombre d'atomes de carbone en terminologie grecque), la structure de la chaîne carbonée (nature des liaisons et nombre, position et configuration des doubles ou triples liaisons s'il y a lieu) et enfin la nature de la fonction (acide) (annexe 2).

Ainsi, l'acide octadécadiène *9cis,12cis* oïque est un acide (terminaison "oïque") à 18 atomes de carbone (octadéca), à 2 (di) doubles liaisons (ène) positionnées sur les carbones 9 et 12 en comptant à partir de la fonction carboxylique (acide), de configuration géométrique *cis*. La numérotation abrégée, reprenant la nomenclature normalisée, désigne un AG par son nombre de carbone, le nombre de doubles liaisons et la position et la géométrie de ces liaisons. L'acide octadécadiène *9cis,12cis* oïque ou acide linoléique devient le 18:2  $\Delta 9c, \Delta 12c$  (figure 1).

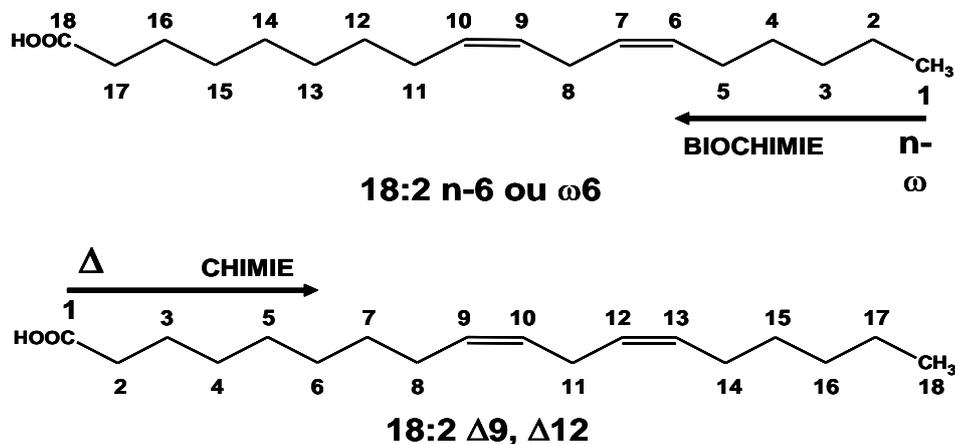


Figure 1 : Nomenclatures des AG

Comme pour toute chaîne carbonée, une double liaison sur un AG est soit de configuration *cis* — les deux atomes d'hydrogène du même côté du plan de la liaison —, soit de configuration *trans* — les deux atomes d'hydrogène sont de part et d'autre du plan de la liaison —. Les AG possédant une ou plusieurs double(s) liaison(s) sont très majoritairement de configuration géométrique *cis* dans la nature : ce sont les AGMI (acides gras mono-insaturés) et AGPI (acides gras poly-insaturés). Les doubles liaisons des AGPI sont en position homo-conjuguée ou penta-1*c*,4*c*- diène.

Les isomères conjugués de l'acide linoléique (*conjugated linoleic acid* ou CLA) sont des isomères à 18 atomes de carbone et 2 doubles liaisons conjuguées de position et de géométrie variables. Les AG *trans* ont plusieurs origines (Afssa, 2005 a) : naturelle (issus des fermentations digestives du ruminant) ou industrielle (obtenus par hydrogénation catalytique partielle d'huiles ou de graisses, ou par traitements thermiques). Les AG *trans* étudiés dans ce rapport sont ceux synthétisés par les ruminants, ou introduits dans l'alimentation des animaux de rente et retrouvés dans les produits consommés par l'Homme.

Pour mettre l'accent sur la fonction physiologique de certains AG, les biochimistes et nutritionnistes ont introduit une variante de la numérotation abrégée, qui consiste à numéroter les atomes de carbone à partir du méthyle terminal, et non plus du carboxyle. L'acide linoléique devient alors le 18:2 n-6 (n étant le nombre de carbones et 6 la position portant la 1<sup>ère</sup> insaturation comptée à partir du méthyle terminal). On trouve encore parfois l'ancienne nomenclature utilisant le "ω" : l'acide linoléique était abrégé 18:2 ω6 (figure 1). Cette numérotation fait ressortir la notion de "famille" d'AG n-6 (ω6) et n-3 (ω3), découlant respectivement de l'acide linoléique et de l'acide alpha-linolénique.

Les nomenclatures retenues pour les AG insaturés dans ce rapport seront :

a : cas des AG de configuration *cis* :

- 18:1 n-9 ou acide oléique
- 18:2 n-6 ou acide linoléique (LA)
- 18:3 n-3 ou acide alpha-linolénique (ALA)
- 20:4 n-6 ou acide arachidonique (ARA)
- 20:5 n-3 ou acide eicosapentaénoïque (EPA)
- 22:5 n-3 ou acide docosapentaénoïque (DPA)
- 22:6 n-3 ou acide docosahexaénoïque (DHA)

b : cas des AG de configuration *trans* :

- 18:1 9*t* ou acide élaïdique
- 18:1 11*t* ou acide vaccénique
- 18:2 9*c*,12*t*
- 18:2 9*c*,11*t* ou acide ruménique

Les AG sont les composants majeurs des triacylglycérols et des phospholipides, dont ils constituent respectivement environ 95 % et 60 % du poids, et dans lesquels ils forment (dans la très grande majorité des cas) des liaisons ester. Quatre vingt quinze pour cent des lipides apportés par l'alimentation humaine sont des triacylglycérols.

## 1.2. Apports nutritionnels conseillés

Les AG et leurs fonctions sont multiples. Parmi les AGPI, certains sont dits précurseurs « indispensables » (acide linoléique, 18:2 n-6 et alpha-linolénique, 18:3 n-3) car ils sont indispensables pour la croissance et les fonctions physiologiques et non synthétisables par l'Homme. Les dérivés de ces précurseurs indispensables sont dits « conditionnellement indispensables » puisque l'Homme et l'Animal peuvent les synthétiser (à condition de disposer des AG précurseurs indispensables). Les autres AG (autres polyinsaturés, monoinsaturés et saturés) sont des nutriments synthétisables *de novo* par l'organisme. Ces caractéristiques des AG induisent des équilibres complexes.

L'ANC est une valeur de référence qui permet de couvrir les besoins physiologiques de la quasi-totalité de la population. Les valeurs concernent les individus en bonne santé et

incluent l'objectif du maintien de cette bonne santé, ce qui correspond aux limites de la prévention primaire de pathologies [syndrome métabolique, diabète, obésité, maladies cardio-vasculaires, cancers (notamment sein et côlon) et autres pathologies telles que la dégénérescence maculaire liée à l'âge].

Au vu des données récentes, la classification biochimique des AG « polyinsaturés, monoinsaturés et saturés » ne correspond plus à la diversité des AG, à la précision des études, à la spécificité des fonctions et effets et présente peu d'intérêt pour la santé publique. Ainsi, on distingue les AG indispensables et AG non indispensables (tableau 1 A).

Les tableaux 1 rassemblent les apports nutritionnels conseillés (ANC) en AG pour un adulte, en AGPI précurseurs et à longue chaîne pour la femme enceinte et la femme allaitante, et en acides gras polyinsaturés pour l'enfant et l'adolescent (Afssa, 2010 a).

Le tableau 1 A présente les apports nutritionnels conseillés (ANC) en AG chez l'adulte pour les lipides totaux, le LA, l'ALA, le DHA, l'EPA, la somme (12:0 + 14:0 + 16:0), les AGS totaux, l'acide oléique. Les valeurs sont exprimées, excepté pour l'EPA et le DHA, en pourcentage de l'apport énergétique sans alcool, que l'on appellera « apport énergétique » (AE), par souci de simplification. Dans le cas du DHA et de l'EPA, les valeurs sont exprimées en milligrammes dans la mesure où les études disponibles ont utilisé cette unité.

Les ANC, présentés dans le tableau 1 A, sont établis pour le sujet adulte (homme ou femme) pour un apport énergétique journalier de 2000 kcal.

Tableaux 1 : Tableaux synthétiques des ANC (Afssa, 2010 a)

Tableau 1 A : ANC pour un adulte consommant 2000 kcal.

		Besoin physiologique minimal*	PREVENTION DU RISQUE					ANC 2010
			Syndrome métabolique-diabète-obésité	Maladies cardiovasculaires	Cancer : sein et côlon**	Maladies neuro-psychiatriques	Autres maladies : DMLA***	
Lipides totaux <sup>a</sup>		30 <sup>b</sup>	30-40	35-40 <sup>c</sup>	35-40	35-40 <sup>d</sup>	<40	35-40 <sup>c</sup>
AG indispensables	Acide linoléique LA 18:2 n-6	2	2 <sup>e</sup>	5	2 <sup>e</sup>	2 <sup>e</sup>	≤4 <sup>f</sup>	4 <sup>g</sup>
	Acide α-linolénique ALA 18:3 n-3	0,8	0,8 <sup>e</sup>	1 <sup>h</sup>	0,8 <sup>e</sup>	0,8 <sup>e</sup>	0,8 <sup>e</sup>	1 <sup>h</sup>
	Acide docosahexaénoïque DHA 22:6 n-3	250 mg	500 mg	500-750 mg <sup>i</sup>	500 mg	≥ 200-300 mg	500 mg	250 mg
Acide eicosapentaénoïque EPA 20:5 n-3	-	250 mg <sup>j</sup>						
AG non indispensables	Acide laurique (12:0) + Acide myristique (14:0) + Acide palmitique (16:0)	-	-	≤8 <sup>h</sup>	-	-	-	≤ 8
	Acides gras saturés totaux	-	- <sup>k</sup>	≤12	≤12 <sup>l</sup>	-	-	≤12
	Acide oléique 18:1 n-9	-	-	≤20 <sup>m</sup>	-	-	-	15-20
	Autres AG non indispensables <sup>n</sup>	-	-	-	-	-	-	-

\* correspond pour les acides gras à un apport nécessaire pour éviter tout syndrome de déficit alimentaire en acides gras indispensables. Ces recommandations assurent un bon fonctionnement de l'ensemble de l'organisme et notamment le développement et le fonctionnement cérébral.

\*\* parmi les cancers étudiés, seules les études relatives aux cancers du sein et du côlon permettent d'établir des recommandations.

\*\*\* parmi les maladies étudiées, seules les études relatives à la DMLA permettent d'établir des recommandations.

«-» absence de données bibliographiques permettant de conclure.

<sup>a</sup> Les valeurs ne s'appliquent que pour un apport énergétique proche de 2000 kcal et une balance énergétique équilibrée.

<sup>b</sup> Un besoin minimum de 30 % paraît souhaitable pour assurer l'apport minimum en AGPI indispensables. De plus, il n'y a aucun bénéfice à descendre en deçà de 30 %.

<sup>c</sup> Pour des apports de moins de 35 %, il n'y a pas de bénéfice établi pour la santé cardiovasculaire.

<sup>d</sup> Les valeurs proposées pour la prévention des risques de maladies cardiovasculaires et de syndrome métabolique peuvent s'appliquer en l'absence de données spécifiques étant donnée la possibilité d'un lien pathogénique.

<sup>e</sup> En l'absence de données spécifiques, le besoin physiologique s'applique.

<sup>f</sup> Sur la base d'études d'observation qui montrent que des apports excessifs en acide linoléique, supérieurs à 2,5 % ou à 5,5 %, selon les études, sont associés à une disparition de l'effet bénéfique des AGPI n-3 LC. La valeur de 4 % a donc été prudemment choisie.

<sup>g</sup> La valeur de l'ANC tient compte du fait qu'un certain nombre de données suggère une limite maximale d'apport en acide linoléique.

<sup>h</sup> Cette donnée est déduite d'études épidémiologiques d'observation et non d'études d'intervention formelles.

<sup>i</sup> Besoins en EPA+DHA pouvant atteindre 750 mg pour les sujets à haut risque cardiovasculaire (prévention secondaire).

<sup>j</sup> Les données regroupant souvent les effets EPA + DHA, la valeur de 250 mg est donc obtenue par soustraction.

<sup>k</sup> Absences de données cliniques cohérentes.

<sup>l</sup> Données restreintes au cancer du sein.

<sup>m</sup> Sur la base de la conjonction d'études épidémiologiques et de données cliniques suggérant une valeur limite d'apport.

<sup>n</sup> « Autres AG non indispensables » représentent un ensemble d'acides gras consommés en faible quantité pour lesquels il n'y a pas d'ANC définissable actuellement. Ces acides gras qui représentent environ 2 % de l'AE comprennent notamment des AGMI (16:1 n-7 ; 18:1 n-7 ; 22:1 n-9...), des AGPI (18:3 n-6 ; 20:3 n-6 ; 20:4 n-6 ; 18:4 n-3 ; 20:4 n-3 ; 22:5 n-3...) et des acides gras trans et conjugués (18:2 n-7 t ; 18:2 n-7 9c, 11t). En ce qui concerne les AG trans, il est rappelé que leur niveau d'apport maximal est limité à 2 % (Afssa, 2005 a).

**Tableau 1 B : ANC en AGPI précurseurs et à longue chaîne pour la femme enceinte consommant 2050 kcal et la femme allaitante consommant 2250 kcal.**

	Femme enceinte	Femme allaitante
Acide linoléique LA (18:2 n-6)	4,0 %	4,0 %
Acide $\alpha$ -linoléique ALA (18:3 n-3)	1,0 %	1,0 %
Acide docosahexaénoïque DHA (22:6 n-3)	250 mg	250 mg
AGPI-LC n-3 (EPA+DHA)	500 mg	500 mg

Valeurs valables pour un apport énergétique de 35-40 % sous forme de lipides.

**Tableau 1 C : ANC en acides gras polyinsaturés pour l'enfant et l'adolescent.**

	Acide linoléique LA	Acide $\alpha$ - linoléique ALA	Acide arachidonique ARA	Acide docosa-hexaénoïque DHA	AGPI-LC n-3 (EPA+DHA)
Nourrissons (6 mois à 1 an)	2,7 % AE	0,45 % AE	- <sup>a</sup>	70 mg <sup>b</sup>	- <sup>c</sup>
Enfant en bas âge (1- 3 ans)	2,7 % AE	0,45 % AE	- <sup>a</sup>	70 mg <sup>b</sup>	- <sup>c</sup>
Enfants âgés de 3 à 9 ans	4,0 % AE	1,0 % AE	- <sup>a</sup>	125 mg <sup>b</sup>	250 mg <sup>b</sup>
Adolescents de 10 à 18 ans	4,0 % AE	1,0 % AE	- <sup>a</sup>	250 mg <sup>b</sup>	500 mg <sup>b</sup>

Les valeurs sont exprimées en % de l'apport énergétique (AE) ou en mg.

<sup>a</sup> il n'existe pas de données justifiant des recommandations.

<sup>b</sup> la variabilité de la ration énergétique quotidienne ne permet pas d'exprimer ces ANC en % de l'énergie.

<sup>c</sup> il n'existe pas de données permettant d'établir des besoins pour l'EPA ou pour l'EPA+ le DHA.

Chez la femme enceinte et allaitante (tableau 1B), la définition des ANC tient compte, notamment, du rôle crucial du DHA dans le développement neurologique optimal de l'enfant. En l'absence de données spécifiques et pour ce qui concerne les AGPI précurseurs et les autres AG, les valeurs proposées pour le sujet adulte s'appliquent.

Chez l'enfant (> 3 ans) et l'adolescent (tableau 1C), il n'existe pas d'études permettant de déterminer leurs besoins spécifiques en AGPI précurseurs. Les ANC pour l'ALA et le LA dans ces tranches d'âge sont donc similaires à ceux de l'adulte. Chez les enfants, les ANC pour le DHA sont réduits de moitié par rapport à la valeur proposée pour les adolescents (valeur adulte), en tenant compte des besoins énergétiques plus faibles.

Dans le cadre de la définition des apports nutritionnels conseillés (ANC), les données disponibles sur les effets des acides gras sur la santé humaine ont fait l'objet d'une revue bibliographique complète. Pour plus de précisions, le lecteur se référera au rapport de l'Anses « Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras » en cours de finalisation (Anses, 2011).

### 1.3. Limite d'apport en AG *trans*

L'Afssa a réalisé en 2005 une revue des études sur le métabolisme des AG *trans*, ainsi que sur leur impact sur la réponse immunitaire et les facteurs de risque liés à certaines

pathologies (obésité, syndrome métabolique, athérosclérose, cancers) (Afssa, 2005 a). Les données disponibles avaient montré qu'une consommation d'AG *trans* supérieure au seuil de 2 % de l'apport énergétique total entraîne une augmentation significative du risque de maladies cardiovasculaires. Cette valeur avait été retenue par l'Afssa comme un niveau d'apport à ne pas dépasser.

L'Afssa a rendu plus récemment un avis sur l'estimation des apports en acides gras *trans* de la population française, suite à une actualisation des données de composition des aliments. Il ressort de cette expertise que les acides gras *trans* d'origine naturelle<sup>2</sup>, aux niveaux où ils peuvent être consommés dans l'alimentation (au maximum 1,5 % de l'AET) n'altèrent pas les biomarqueurs lipidiques du risque cardiovasculaire, et ne sont pas associés à une augmentation de ce risque dans les études épidémiologiques. A l'inverse, un risque accru d'événements cardiovasculaires est associé, dans les études épidémiologiques d'observation et de cohortes, à la consommation d'acides gras *trans* totaux et d'acides gras *trans* d'origine technologique à des niveaux élevés (plus de 2 % de l'AET et plus de 1,5 % de l'AET, respectivement) (Afssa, 2009 a).

#### **1.4. Aliments contributeurs à l'apport de lipides en France**

Selon l'enquête INCA1, les lipides consommés chez l'adulte (15 ans et plus) représentent en France, en moyenne, 38,5 % de l'apport énergétique sans alcool, soit 36,9 % de l'AET. Dans l'enquête INCA1, on peut calculer à partir du tableau 2 que l'apport lipidique d'origine animale terrestre représente en moyenne au moins 58 % de l'apport lipidique total pour les adultes et au moins 52 % chez les enfants.

---

<sup>2</sup> AG *trans* issus de la biohydrogénation ruminale, et présents dans le lait et les denrées alimentaires issues des ruminants (viande, produits d'origine laitière) ; les AG *trans* technologiques sont issus de l'hydrogénation catalytique partielle d'huiles ou de graisses [huiles partiellement hydrogénées (margarines), « shortenings » (mélanges de matières grasses anhydres destinés principalement à l'industrie)] ou de traitements thermiques technologiques ou domestiques des huiles et des graisses (raffinage, friture, cuisson, etc.).

**Tableau 2 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez les enfants ou les adultes selon l'enquête INCA1**

	Moyenne (g/j)				Pourcentage	
	Enfants	Adultes			Enfants	Adultes
ORIGINE				ORIGINE		
<b>VIANDES</b>				<b>VIANDES</b>		
Volailles	1,82	2,67		Volailles	2,75	3,58
Porc	8,39	11,58		Porc	12,66	15,52
Mouton	0,83	1,47		Mouton	1,25	1,97
Veau	0,34	0,53		Veau	0,51	0,71
Bovin	5,24	4,90		Bovin	7,91	6,56
Lapin	0,200	0,42		Lapin	0,30	0,56
<b>Total viandes</b>	<b>16,82</b>	<b>21,55</b>		<b>Total viandes</b>	<b>25,37</b>	<b>28,90</b>
ŒUF	1,43	2,24		ŒUF	2,15	3,00
LAITS				LAITS		
Vache	22,11	26,53		Vache	33,31	35,55
Brebis	0,19	0,74		Brebis	0,28	0,99
Chèvre	0,375	0,98		Chèvre	0,57	1,31
<b>Total laits</b>	<b>22,67</b>	<b>28,24</b>		<b>Total laits</b>	<b>34,16</b>	<b>37,85</b>
Poissons	0,48	1,12		Poissons	0,72	1,50
Mixtes	24,88	21,43		Autres	37,56	28,74
<b>Total (g/j)</b>	<b>66,28</b>	<b>74,58</b>		<b>Total (%)</b>	<b>99,95</b>	<b>99,98</b>

Enfants : Individus âgés de 3 à 14 ans (1018 individus).

Adultes : Individus de 15 ans et plus (1474 individus).

Ces apports ont été calculés en fonction des données de consommation alimentaire de l'enquête INCA1 réalisée en 1998-1999 par le Credoc et l'Afssa. Cette enquête recueille toutes les prises alimentaires des individus pendant une semaine entière. Afin de tenir compte des effets de saisonnalité, l'enquête a été réalisée en 4 vagues réparties sur une période de 11 mois. Les données de consommation alimentaire ont été obtenues à partir de carnets de consommation, renseignés sur une période de 7 jours consécutifs par les enquêtés, l'identification des aliments et des portions étant facilitée par l'utilisation d'un cahier photographique<sup>3</sup>.

La nomenclature de l'enquête INCA1 contient, au total, plus d'un millier d'aliments répartis dans 44 groupes dont 895 ont été utilisés pour la codification. Les aliments vecteurs de lipides (d'origine animale, végétale ou mixte) sont au nombre de 639. Après avoir écarté les aliments pour lesquels les lipides sont exclusivement d'origine végétale, 555 aliments

<sup>3</sup> « Portions alimentaires : manuel photos pour l'estimation des quantités », SU.VI.MAX, 1994.

vecteurs de lipides d'origine animale ou mixte ont été retenus. Ces 555 aliments ont été regroupés en catégories :

- Viandes : Volailles, porc, mouton, veau, bovins, lapin ;
- Œuf de poule ;
- Laites : Vache, Brebis, Chèvre ;
- Poissons ;
- Autres.

La catégorie « autres » regroupe les aliments pour lesquels l'origine des lipides est mixte, soit d'origines animale et végétale, soit de deux origines animales. Il s'agit en majorité de plats composés.

Les données de consommation quotidienne de lipides issus de ces 555 aliments d'origine animale ou mixte dans différentes catégories de populations (âge, sexe) ont été fournies au groupe de travail par l'équipe de l'Observatoire des consommations alimentaires (OCA) – Epidémiologie nutritionnelle du Pôle d'appui scientifique à l'évaluation des risques (PASER) de l'Afssa. Pour chaque catégorie précitée, la contribution aux apports en lipides a été calculée en ajoutant les contributions individuelles de chacun des aliments d'origine animale ou mixte.

Chez l'adulte, les lipides du lait et des produits d'origine laitière représentent, en moyenne, 38 % (soit 28,2 g/j) des lipides consommés d'origine animale ou mixte<sup>4</sup> ; les lipides des viandes et produits dérivés représentent 29 % (soit 21,6 g/j), l'œuf 3 %, les poissons 1 % et ceux d'origine mixte 29 % (Tableau 3). Ces consommations, en valeur absolue, sont voisines de celles obtenues pour la population française dans l'étude TRANSFAIR : 32 g/j et 19 g/j de lipides, respectivement (Hulshof *et al.*, 1999). L'étude Aquitaine évalue la consommation moyenne de lipides provenant du lait et des produits d'origine laitière à 37,8 g/j et 29,2 g/j chez les femmes enceintes ou non (Combe et Boué, 2001).

Les données de consommation des lipides totaux ou issus des deux grandes classes d'aliments d'origine animale de l'enquête INCA1 sont en concordance avec les données des autres études menées en France à la même époque. Les données d'INCA1 seront considérées comme valeurs de référence dans les calculs qui seront effectués dans la dernière partie de ce rapport.

### **1.5. Lipides d'origine animale consommés en fonction des classes d'âge de la population**

Selon l'enquête INCA1, parmi les adultes, la contribution des lipides du lait et des produits d'origine laitière à l'apport de lipides d'origine animale ou mixte<sup>4</sup> est la plus forte chez les plus de 65 ans (en moyenne à 46 %, soit pratiquement 30 g/j), tandis que celle des lipides des viandes et produits dérivés est la plus faible (elle ne représente que 26 % soit 17 g/j) (tableau 3). En conséquence, les apports des adultes de plus de 65 ans seront plus particulièrement étudiés dans la suite de ce rapport.

---

<sup>4</sup> I.e. soit d'origine animale et végétale, soit de deux origines animales.

**Tableau 3 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez plusieurs classes d'âge et de sexe parmi les adultes (15 ans et plus) selon l'enquête INCA1**

Moyenne	Sexe			Age			
	Ensemble	hommes	femmes	15-24	25-44	45-64	65 et +
	g/j						
<b>Viandes</b>							
Volaille	2,67	3,01	2,38	2,12	2,84	2,94	2,38
Porc	11,58	14,19	9,38	10,58	12,62	12,22	9,09
Mouton	1,47	1,85	1,15	1,42	1,50	1,75	1,01
Veau	0,53	0,56	0,51	0,38	0,54	0,50	0,73
Bovin	4,90	5,73	4,20	6,49	5,49	3,95	3,31
Lapin	0,42	0,49	0,36	0,23	0,39	0,53	0,50
<b>Total Viandes</b>	<b>21,55</b>	<b>25,83</b>	<b>17,97</b>	<b>21,23</b>	<b>23,36</b>	<b>21,89</b>	<b>17,02</b>
<b>Œuf</b>	<b>2,24</b>	<b>2,57</b>	<b>1,95</b>	<b>1,97</b>	<b>1,96</b>	<b>2,83</b>	<b>2,22</b>
<b>Laits</b>							
Vache	26,53	28,80	24,61	22,34	27,41	27,26	27,57
Brebis	0,74	0,87	0,63	0,42	0,66	0,93	0,94
Chèvre	0,98	1,16	0,82	0,62	0,97	1,13	1,14
<b>Total Lait</b>	<b>28,24</b>	<b>30,83</b>	<b>26,05</b>	<b>23,39</b>	<b>29,03</b>	<b>29,31</b>	<b>29,65</b>
Poissons	1,12	1,17	1,08	0,69	1,05	1,39	1,28
Autres	21,43	23,19	19,96	26,52	24,47	18,24	13,94
<b>Total (g/j)</b>	<b>74,58</b>	<b>83,60</b>	<b>67,01</b>	<b>73,79</b>	<b>79,88</b>	<b>73,66</b>	<b>64,11</b>
<b>Pourcentage</b>							
	Ensemble	hommes	femmes	15-24	25-44	45-64	65 et +
<b>Viandes</b>							
Volaille	3,6	3,6	3,5	2,9	3,6	4,0	3,7
Porc	15,5	17,0	14,0	14,3	15,8	16,6	14,2
Mouton	2,0	2,2	1,7	1,9	1,9	2,4	1,6
Veau	0,7	0,7	0,8	0,5	0,7	0,7	1,1
Bovin	6,6	6,8	6,3	8,8	6,9	5,4	5,2
Lapin	0,6	0,6	0,5	0,3	0,5	0,7	0,8
<b>Total Viandes</b>	<b>28,9</b>	<b>30,9</b>	<b>26,8</b>	<b>28,8</b>	<b>29,3</b>	<b>29,7</b>	<b>26,5</b>
<b>Œuf</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,5</b>	<b>3,8</b>	<b>3,5</b>
<b>Laits</b>							
Vache	35,6	34,5	36,7	30,3	34,3	37,0	43,0
Brebis	1,0	1,0	0,9	0,6	0,8	1,3	1,5
Chèvre	1,3	1,4	1,2	0,8	1,2	1,5	1,8
<b>Total laits</b>	<b>37,8</b>	<b>36,9</b>	<b>38,9</b>	<b>31,7</b>	<b>36,3</b>	<b>39,8</b>	<b>46,2</b>
Poissons	1,5	1,4	1,6	0,9	1,3	1,9	2,0
Mixtes	28,7	27,7	29,8	35,9	30,6	24,8	21,7
<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>						

Chez l'enfant de 3 à 14 ans, les lipides du lait et des produits d'origine laitière représentent 34 % (soit 22,7 g/j) des lipides d'origine animale ou mixte consommés, les viandes et produits dérivés 25 % (soit 16,8 g/j) (tableau 4).

**Tableau 4 : Contribution des aliments d'origine animale ou mixte aux apports en lipides, en valeur absolue (g/j) et relative (pourcentage) chez plusieurs classes d'âge et de sexe parmi les enfants (3-14 ans), selon l'enquête INCA1**

Moyenne	Sexe			Age			
	enfants	garçons	filles	3 à 5 ans	6 à 8 ans	9 à 11 ans	12 à 14 ans
	g/j						
<b>Viandes</b>							
Volaille	1,82	1,87	1,77	1,22	1,68	2,20	2,17
Porc	8,39	8,93	7,80	6,62	8,17	8,38	10,16
Mouton	0,83	0,85	0,80	0,43	0,57	0,98	1,31
Veau	0,34	0,37	0,31	0,31	0,34	0,37	0,35
Bovin	5,24	5,62	4,83	4,11	4,46	5,72	6,63
Lapin	0,20	0,22	0,18	0,12	0,21	0,29	0,17
<b>Total Viandes</b>	<b>16,82</b>	<b>17,86</b>	<b>15,69</b>	<b>12,82</b>	<b>15,42</b>	<b>17,93</b>	<b>20,79</b>
Œuf	1,43	1,47	1,38	1,15	1,47	1,64	1,44
<b>Laits</b>							
Vache	22,11	22,71	21,44	19,61	22,26	23,09	23,34
Mouton	0,19	0,20	0,18	0,08	0,14	0,25	0,29
Chèvre	0,38	0,38	0,37	0,27	0,33	0,36	0,53
<b>Total Laits</b>	<b>22,67</b>	<b>23,29</b>	<b>21,99</b>	<b>19,97</b>	<b>22,72</b>	<b>23,69</b>	<b>24,16</b>
Poissons	0,48	0,52	0,44	0,40	0,49	0,50	0,52
Autres	24,88	26,22	23,44	21,19	24,94	25,52	27,69
<b>Total (g/j)</b>	<b>66,28</b>	<b>69,35</b>	<b>62,93</b>	<b>55,52</b>	<b>65,03</b>	<b>69,28</b>	<b>74,59</b>

Pourcentage	Sexe			Age			
	enfants	garçons	filles	3 à 5 ans	6 à 8 ans	9 à 11 ans	12 à 14 ans
<b>Viandes</b>							
Volaille	2,7	2,7	2,8	2,2	2,6	3,2	2,9
Porc	12,7	12,9	12,4	11,9	12,6	12,1	13,6
Mouton	1,2	1,2	1,3	0,8	0,9	1,4	1,8
Veau	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
Bovin	7,9	8,1	7,7	7,4	6,9	8,3	8,9
Lapin	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2
<b>Total Viandes</b>	<b>25,4</b>	<b>25,7</b>	<b>24,9</b>	<b>23,1</b>	<b>23,7</b>	<b>25,9</b>	<b>27,9</b>
Œuf	2,1	2,1	2,2	2,1	2,3	2,4	1,9
<b>Laits</b>							
Vache	33,3	32,8	34,1	35,3	34,2	33,3	31,3
Mouton	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,4
Chèvre	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7
<b>Total Laits</b>	<b>34,2</b>	<b>33,6</b>	<b>34,9</b>	<b>36,0</b>	<b>34,9</b>	<b>34,2</b>	<b>32,4</b>
Poissons	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
Mixtes	37,6	37,8	37,2	38,1	38,4	36,8	37,1
<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>						

Chez les adultes, l'ordre décroissant des consommations moyennes de lipides (en % AET), calculés à partir de Volatier (2000) provenant du lait et des produits d'origine laitière est le suivant : plus de 65 ans (13,0 %) > ensemble des adultes (11,5 %). Chez les enfants, cet ordre est le suivant : ensemble des enfants (10,7 %) ~ 12-14 ans (10,1 %).

Chez les adultes, l'ordre décroissant des consommations moyennes de lipides (en % AET, calculés à partir de Volatier, 2000) provenant des viandes est inversé : ensemble des adultes (8,8 %) > plus de 65 ans (7,5 %). L'ordre est également inversé chez les enfants : enfants 12-14 ans (8,7 %) > ensemble des enfants (8,0 %).

La matière grasse laitière bovine représente la majeure partie de l'apport de lipides d'origine laitière (94 % chez l'adulte, 97,5 % chez l'enfant, en moyenne) (tableaux 3 et 4). On peut calculer à partir des tableaux 3, 4 et 5 que le beurre représente à lui seul environ 38 % chez l'adulte et environ 36 % chez l'enfant, de l'apport de lipides issus des laits et produits dérivés.

**Tableau 5 : Principaux vecteurs lipidiques d'origine animale chez l'enfant (3-14 ans) et l'adulte (> 15 ans)  
– d'après l'enquête INCA1**

Vecteurs	Apports (g/j)	
	Enfants	Enfants
Beurre	8,16	11,90
Steak haché 15 % MG cuit	2,70	3,92
Lait ½ écrémé UHT	2,13	3,10
Saucisse de Toulouse	1,59	2,31
Camembert	1,57	2,28
Gruyère	1,19	1,74
	Adultes	
	Adultes	Adultes
Beurre	10,76	14,50
Camembert	3,08	4,20
Steak haché 15 % MG cuit	1,81	2,41
Saucisse de Toulouse	1,45	2,02
Porc côtelette grillée	1,31	1,80
Omelette nature	1,15	1,60

NB : les aliments contributeurs d'origine végétale ou d'origine mixte ont été exclus.

Chez l'adulte, les viandes porcine, bovine et de volailles et produits dérivés représentent en moyenne respectivement 54 %, 23 % et 12 % de l'apport total de lipides d'origine carnée (tableau 3). Chez les enfants, les chiffres sont respectivement de 50 %, 31 % et 11 % (tableau 4). Pour les produits issus du porc, la saucisse de Toulouse (chez les enfants et les adultes) et la côtelette grillée (chez les adultes) figurent parmi les 6 principaux vecteurs lipidiques d'origine animale (tableau 5). Pour la viande bovine, le premier vecteur est le steak haché à 15 % de matières grasses (tableau 5).

## 2. Les AG saturés

Dans cette partie ne seront considérés que les AGS 12:0, 14:0, 16:0 et 18:0 avec le choix délibéré de ne pas considérer les AG à chaînes courte et moyenne (4-10 carbones), en dépit du fait qu'ils sont inclus dans les AGS des tables et des enquêtes alimentaires. Néanmoins, la très grande majorité des études traitant des AGS individuels concerne les AGS de 12 à 18 atomes de carbone.

L'hétérogénéité métabolique et fonctionnelle des AGS est notamment illustrée par le catabolisme oxydatif hépatique de l'acide myristique plus élevé que celui de l'acide palmitique (Rioux *et al.*, 2000), la delta-9 désaturation préférentielle de l'acide stéarique par rapport à celle des autres AGS, l'acylation spécifique des protéines par les acides myristique ou palmitique (Resh, 2004) ou la diminution du catabolisme oxydatif des AG et du métabolisme basal avec un régime riche en acide stéarique par comparaison à un régime riche en acide oléique (Kien et Bunn, 2007).

### 2.1 Apports en AGS

L'ANC des AGS totaux et de la somme des 12:0 + 14:0 + 16:0 est, respectivement, de moins de 12 % et de moins de 8 % de l'apport énergétique total chez l'adulte (tableau 1 ;

Afssa, 2010 a). Cependant, la consommation moyenne estimée d'AGS totaux de la population française se situe entre 14 et 17 % de l'AET environ selon la classe d'âge et de sexe considérée (Preziosi *et al.*, 1999 ; Razanamahefa *et al.*, 2005).

## 2.2 Aliments contributeurs

Les AGS consommés ont une origine animale ou végétale. L'enquête INCA1 montre que les 4 premiers groupes d'aliments contributeurs à l'apport d'AGS sont exclusivement d'origine animale : par ordre décroissant, le beurre, les fromages, la charcuterie et les viandes « rouges ».

## 2.3 AGS – santé humaine

Cette relation est traitée dans une revue bibliographique complète réalisée dans le cadre de la réactualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras (Anses, 2011).

# 3. Les AG *trans*, les CLA

## 3.1. Apports en AG *trans*

En valeur brute, les apports en AG *trans* sont plus élevés en moyenne chez les adultes (2,3 g/j) que chez les enfants (1,9 g/j) (Afssa, 2009 a). Toutefois, les apports moyens rapportés à l'AET sont similaires chez les adultes et chez les enfants, autour de 1 %. En valeurs absolues, les apports en AG *trans* sont plus élevés chez les hommes que chez les femmes (2,62 vs 2,03 g d'AG *trans*/jour) et chez les garçons que chez les filles (2,01 vs 1,78 g d'AG *trans*/jour). Peu de différences sont observées avec l'âge chez les adultes. Chez les adultes, les groupes d'aliments vecteurs d'AG *trans* naturels<sup>2</sup> (viandes et produits d'origine laitière) contribuent majoritairement à l'apport total en AG *trans* et couvrent une part plus importante que les AG *trans* d'origine technologique. Chez les enfants, une répartition équivalente entre les deux origines, naturelle et technologique, est observée.

Les apports journaliers en AG *trans* totaux représentaient en moyenne en 1998-1999 (INCA1) entre 1,2 et 1,4 % de l'AET (selon l'âge et le sexe) et entre 1,9 et 2,5 % de l'AET au 95<sup>ème</sup> percentile de la population (Afssa, 2005 a). En 2006-2007 (INCA2), les apports se situent autour de 0,8 % de l'AET en moyenne et de 1,2 % de l'AET au 95<sup>ème</sup> percentile. La diminution serait donc de l'ordre de 40 %. Les apports moyens et au 95<sup>ème</sup> percentile en AG *trans* totaux estimés dans la population française [1-1,5 % de l'apport énergétique total (AET)] sont inférieurs au seuil de 2 % de l'AET fixé en 2005, et ce quels que soient l'âge et le sexe, aussi bien chez les enfants que chez les adultes. Concernant les AG *trans* d'origine naturelle, leurs niveaux de consommation dans la population française (0,5-0,9 % de l'AET) restent inférieurs à ceux identifiés comme ne présentant pas de risque au niveau cardiovasculaire, à savoir 1,5 % de l'AET.

## 3.2. Aliments contributeurs

Dans l'avis de l'Afssa (2009 a), sont considérés comme AG *trans* d'origine naturelle, les AG *trans* présents dans les produits d'origine laitière (lait, fromage, beurre, ultra frais laitier) et dans les viandes de ruminants. En d'autres termes, il s'agit des AG *trans* issus de la biohydrogénation ruminale. Les AG *trans* d'origine technologique sont ceux contenus dans les aliments intégrant des matières grasses végétales partiellement hydrogénées (notamment certains gâteaux-pâtisseries, viennoiseries, pizzas-quiches, biscuits sucrés-salés, plats composés). Ils incluent également les éventuelles matières grasses partiellement hydrogénées distribuées en alimentation animale et retrouvées dans des produits animaux tels que charcuteries, volailles, ainsi que gibiers et poissons d'élevage.

Il apparaît tout d'abord que la part des AG *trans* d'origine naturelle (produits laitiers, beurre et viandes) est plus élevée que celle des AG *trans* d'origine technologique chez les adultes, à savoir 57,4 contre 42,6 % des AG *trans* totaux. Chez les enfants, les contributions des AG *trans* des deux origines sont équivalentes (50,7 contre 49,3 % des AG *trans* totaux).

Les fromages constituent le premier groupe d'aliments vecteurs d'AG *trans* chez les adultes avec 22 % de l'apport total, et le deuxième groupe chez les enfants avec 14 %. Le beurre se trouve en première position chez les enfants (14,4 %) et en deuxième chez les adultes (17 %). Le groupe des viandes arrive en 4<sup>ème</sup> position chez les adultes (avec 10,6 %) et en 3<sup>ème</sup> chez les enfants (avec 11 %). Chez les adultes, les plats composés arrivent en 3<sup>ème</sup> position avec 11,2 % de l'apport total en AG *trans*. Au total, tant chez les adultes que chez les enfants, une douzaine de groupes d'aliments contribue à 90 % de l'apport total en AG *trans*.

### 3.3. AG *trans*, CLA et risque cardiovasculaire

Les études épidémiologiques longitudinales montrent, sur des cohortes indépendantes, qu'une augmentation des AG *trans* consommés égale à 2 % de l'AET entraîne une augmentation significative du risque cardiovasculaire (+ 25 %) (Oomen *et al.*, 2001). L'élévation du risque serait plus marquée chez la femme que chez l'homme (Bolton-Smith *et al.*, 1996).

Des essais cliniques d'interventions nutritionnelles indiquent que la consommation d'AG *trans* favorise un profil lipidique plus athérogène que les AGS : comme les AGS, ils augmentent le C-LDL mais diminuent le C-HDL et augmentent par conséquent, contrairement aux AGS, le rapport CT/C-HDL (Sacks et Katan, 2002). Sur la base des études épidémiologiques et d'intervention disponibles, la question de savoir si ces effets existent avec les AG *trans* d'origine naturelle (animale), industrielle, ou indifféremment quelle que soit leur origine, n'a pu être tranchée dans le rapport de l'Afssa (2005 a) ou dans les revues récentes (Mozaffarian *et al.*, 2006 ; Mozaffarian et Willet, 2007 ; Booker et Mann, 2008). Toutefois, la revue de Lock *et al.* (2005) indique que l'augmentation du risque cardiovasculaire dans le quintile le plus élevé de consommation d'AG *trans* n'est pas observée avec les AG *trans* d'origine animale. De plus, des données concordantes publiées depuis 2005 semblent indiquer que les AG *trans* des lipides des ruminants ne sont pas associés à un risque cardiovasculaire accru (Shingfield *et al.*, 2008). L'étude prospective de Jakobsen *et al.* (2008) montre également que la consommation des AG *trans* provenant des lipides des ruminants n'est pas associée à un risque cardiovasculaire accru. L'étude d'intervention de Chardigny *et al.* (2008) qui permet pour la première fois de comparer les effets des AG *trans* d'origine animale et ceux d'origine industrielle à des niveaux d'apport quantitativement proches montre que les AG *trans* d'origine naturelle n'abaissent pas le C-HDL en comparaison aux AG *trans* d'origine industrielle au moins chez les femmes. De même, l'étude de Motard-Bélanger *et al.* (2008) montre qu'à un niveau de consommation de 1,5 % de l'AET, les AGT d'origine naturelle ne modifient pas le profil lipidique chez l'Homme. Par ailleurs, certaines études suggèrent qu'au sein des AG *trans*, ce sont les isomères du 18:2 plutôt que ceux du 18:1 qui sont liés au risque cardiovasculaire chez l'Homme (Shingfield *et al.*, 2008). En outre, une étude chez le lapin suggère qu'à même apport d'AGS, des beurres naturellement enrichis en 18:1 10t tendent à augmenter des paramètres lipidiques liés au risque cardiovasculaire, par rapport à des beurres naturellement enrichis en 18:1 11t et en 18:2 9c,11t (Bauchart *et al.*, 2007 ; Roy *et al.*, 2006 et 2007).

Il n'existe pas d'études épidémiologiques sur les CLA. Chez le rongeur, les CLA, et spécialement l'isomère 10t,12c entraînent une réduction de la masse grasse. Des études ont donc porté sur des effets potentiels des CLA sur la réduction de la masse grasse chez l'Homme, notamment chez les sujets en surpoids ou obèses. Les CLA (le plus souvent, mélange des deux isomères 9c,11t et 10t,12c) ne réduisent que faiblement (voire pas du tout) la masse grasse (Whigam *et al.*, 2007), à des doses (2-7 g/j) pouvant entraîner des

effets délétères (Silveira *et al.*, 2007). Les études d'intervention chez l'Homme utilisent ainsi des niveaux d'apport de l'ordre de 10 à 100 fois (respectivement pour le 18:2 9*c*,11*t* et le 18:2 10*t*,12*c*) supérieurs à ceux que l'on observe lors de la consommation des aliments contributeurs naturels. Avec les mélanges d'isomères de CLA, les observations les plus fréquentes sont l'augmentation des peroxydations lipidiques et la diminution du C-HDL (Basu *et al.*, 2000 ; Blankson *et al.*, 2000 ; Riséus *et al.*, 2002 a ; Gaullier *et al.*, 2004). Des études plus récentes portent sur l'effet de chacun des deux principaux isomères (18:2 9*c*,11*t* et 18:2 10*t*,12*c*) mais sont encore peu nombreuses. Elles montrent que :

(1) les effets des deux isomères 18:2 9*c*,11*t* et 18:2 10*t*,12*c* sont différents, le premier diminue et le second augmente le rapport C-LDL/C-HDL et les triglycérides circulants (Tricon *et al.*, 2004) ;

(2) le C-HDL ne serait pas modifié par le 18:2 9*c*,11*t* (Riséus *et al.*, 2004 ; Tricon *et al.*, 2004) alors qu'il serait abaissé par le 18:2 10*t*,12*c* (Riséus *et al.*, 2002 b) ;

(3) le 18:2 10*t*,12*c* augmenterait les triglycérides des VLDL (Riséus *et al.*, 2002 b), la protéine C-réactive (Riséus *et al.*, 2002 a) et les peroxydations non enzymatiques (Riséus *et al.*, 2002 a ; Riséus *et al.*, 2004), ces deux derniers paramètres étant considérés comme des indicateurs d'un processus inflammatoire.

### 3.4. CLA et résistance à l'insuline

Chez l'Homme, le mélange équi pondéral des deux principaux isomères de CLA augmente la résistance à l'insuline chez le sujet diabétique (Moloney *et al.*, 2004) ou en surpoids (Thrush *et al.*, 2007). Toutefois, Watras *et al.* (2007) ne rapportent pas d'effet. L'isomère 10*t*,12*c* est clairement identifié comme étant responsable de l'augmentation de la résistance à l'insuline [Riséus *et al.*, 2002 b ; Riséus (2006) pour revue] mais l'isomère 9*c*,11*t* apporté à la dose de 3 g/j, peut également avoir ce type d'effet (Riséus *et al.*, 2004).

### 3.5. AG *trans*, CLA et risque de cancers

Les études épidémiologiques sont en nombre insuffisant pour établir une association entre consommation d'AG *trans* et cancers (Afssa, 2005 a). Cependant, une étude récente utilisant les AG du tissu mammaire comme biomarqueurs, a montré une corrélation positive entre AG *trans* (sans distinction possible sur l'origine) et cancer du sein (Bougnoux *et al.*, 2006).

Chez la ratte, le 18:2 9*c*,11*t* présente un effet inhibiteur sur la genèse de tumeurs mammaires (Ip, 1997 ; Lavillonnière *et al.*, 2003). Cet effet bénéfique n'a pas été retrouvé chez la femme dans le cas du cancer du sein, peut-être en raison des apports faibles en CLA par rapport à ceux réalisés expérimentalement chez la ratte (Chajès *et al.*, 2003). Chez la ratte, l'acide vaccénique pourrait avoir un effet bénéfique *via* sa bioconversion en 18:2 9*c*,11*t* (Banni *et al.*, 2001).

### 3.6. AG *trans*, CLA et inflammation

Dans les études d'observation, la consommation d'AG *trans* (en particulier les 18:1 *trans* et les 18:2 *t,t*) sont corrélés à l'accroissement des concentrations plasmatiques de certains biomarqueurs de l'inflammation systémique (TNF-alpha, IL6, CRP) chez la femme en bonne santé (Lopez-Garcia *et al.*, 2005), ce phénomène étant plus marqué chez la femme obèse (Mozaffarian *et al.*, 2004 a) ou chez des individus présentant une pathologie cardiovasculaire établie (Mozaffarian *et al.*, 2004 b). Dans ce même type d'études, des biomarqueurs plasmatiques du dysfonctionnement endothélial, comme les molécules d'adhérence des cellules vasculaires VCAM-1 ou ICAM-1 ainsi que la sélectine E

plasmatique ont été associés à des consommations croissantes d'AG *trans* (Lopez-Garcia *et al.*, 2005).

Dans les études d'intervention, l'apport élevé d'AG *trans* (6,7 % à 8 % de l'AET) accroît la production de l'IL6 et du TNF-alpha chez des individus hypercholestérolémiques (Han *et al.*, 2002) et la concentration de la CRP chez l'homme sain (Baer *et al.*, 2004). Simultanément, la sélectine E plasmatique a été accrue par l'apport d'AG *trans* (Baer *et al.*, 2004). Néanmoins, l'apport élevé (6 g/j) des isomères 11*t* et 12*t* du 18:1 n'a pas eu d'effet sur l'IL-6, IL-8, TNF-alpha chez l'homme sain (Kuhnt *et al.*, 2007).

Dans des études d'intervention récentes chez l'homme, le rôle spécifique des 2 isomères 9*c*,11*t* et 10*t*,12*c* du 18:2 sur l'inflammation systémique a été étudié. Chez l'homme sain, un apport quotidien de 2,2 g/j (Mullen *et al.*, 2007) d'un mélange équimolaire de 9*c*,11*t* et 10*t*,12*c* réduit la production d'IL2 mais pas celle d'autres biomarqueurs de l'inflammation (TNF alpha, IL-6 et IL-1, CRP). Inversement, l'apport de 4,2 g/j d'un mélange des 2 isomères vs placebo chez l'homme sain (Smedman *et al.*, 2005) ou de 5,5 g d'un mélange des 2 isomères en comparaison de l'apport du seul isomère 9*c*,11*t* chez la femme ménopausée (Tholstrup *et al.*, 2008) accroît la CRP plasmatique, mais pas les autres biomarqueurs étudiés (TNF-alpha, IL-6, VCAM-1 et ICAM-1). L'apport du seul isomère 10*t*,12*c* accroît fortement la CRP chez l'homme présentant un syndrome métabolique (Risérus *et al.*, 2002 a), tandis que le 9*c*,11*t* réduit la transcription du TNF-alpha, de l'IL-12, et de l'IL-6 et la production de l'IL-12 dans des cellules épithéliales du colon (Reynolds *et al.*, 2008).

#### **4. Les AGMI *cis***

Les AGMI alimentaires sont essentiellement représentés par l'acide oléique (18:1 9*c*), mais aussi par le 16:1 9*c* et plus faiblement par le 14:1 9*c*.

##### **4.1. Apports en AGMI *cis***

Les apports dans la population française d'après l'enquête INCA1 sont de 32 g/j, soit 13 % de l'AET (Razanamahefa *et al.*, 2005). Une part importante de l'acide oléique disponible au niveau des tissus provient également d'une désaturation de l'acide stéarique.

##### **4.2. Aliments contributeurs**

L'acide oléique est apporté par les aliments d'origine animale et les huiles végétales. En France, les huiles et sauces à base d'huiles représentent de 12 à 14 % des apports d'AGMI *cis* chez l'adulte, tandis que les viandes « rouges », charcuteries, beurre, et fromages représentent chacun environ 10 à 12 % des apports (Razanamahefa *et al.*, 2005). Les aliments contributeurs sont donc majoritairement d'origine animale (40 à 50 % des apports en AGMI).

##### **4.3. AGMI *cis* et santé humaine**

Cette relation est traitée dans une revue bibliographique complète réalisée dans le cadre de la réactualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras (Anses, 2011 en cours de finalisation).

#### **5. Les AGPI n-3 et n-6**

##### **5.1. Apports en AGPI**

D'après l'enquête INCA1, les apports moyens en ALA sont très faibles dans la population française (entre 0,1 et 0,2 g/j) (Afssa, 2003). Cependant, ils sont probablement sous-estimés par suite de l'absence de données détaillées de composition en ALA au moment de

l'enquête. Les apports moyens sont plus élevés dans l'étude Aquitaine (0,7 g/j) (Combe et Boué, 2001), l'étude TRANSFAIR (0,6 g/j chez les hommes et  $0,5 \pm 0,2$  g/j chez les femmes) (Hulshof *et al.*, 1999), l'étude SU.VI.MAX. (0,94 g/j chez les hommes et 0,74 g/j chez les femmes) (Astorg *et al.*, 2004) mais restent largement inférieures aux ANC (Afssa, 2010 a) (tableau 1). Dans une étude fondée sur les données de consommation de l'enquête INCA1 mais utilisant les données de composition des aliments de l'étude SU.VI.MAX., la consommation moyenne est de 0,9 g/j pour les hommes et de 0,7 g/j pour les femmes (Maillot *et al.*, 2007).

D'après l'enquête INCA1, les apports moyens en LA sont de 1 à 2 g/j (Afssa, 2003). Les valeurs au 95<sup>ème</sup> percentile sont généralement comprises entre 3 et 7 g/j. En revanche, d'après l'étude SU.VI.MAX., les apports moyens atteignent, voire dépassent, les ANC : 10,6 g/j chez les hommes et 8,1 g/j chez les femmes (Astorg *et al.*, 2004). L'étude de Maillot *et al.* (2007) permet d'estimer ces apports à 11 g/j chez l'homme et à 9,2 g/j chez la femme, ce qui s'avère plus élevé que l'ANC.

La valeur du rapport LA/ALA est en moyenne proche de 10 dans l'enquête INCA1 et dans l'étude SU.VI.MAX., et proche de 12 dans l'étude de Maillot *et al.* (2007). Les apports moyens en LA et ALA sont donc déséquilibrés en France compte tenu du rapport LA/ALA recommandé de 5 (Legrand *et al.*, 2001).

Pour ce qui concerne le DHA, la population de l'étude SU.VI.MAX a des apports moyens (273 mg/j chez les hommes, 226 mg/j chez les femmes) proches des ANC : dans cette étude (Astorg *et al.*, 2004), les apports moyens en AGPI n-3 à longue chaîne (EPA + DPA + DHA) avoisinent 500 mg/jour chez les hommes et 400 mg/jour chez les femmes. Dans l'étude de Maillot *et al.* (2007), les apports moyens sont beaucoup moins élevés (130 mg/j pour les hommes et 100 mg/j pour les femmes) et inférieurs aux ANC (tableau 1 A). Dans l'étude Calipso, menées chez des forts consommateurs de poissons et produits de la mer<sup>5</sup> habitant en zone côtière française, les apports moyens en AGPI n-3 à longue chaîne *via* la consommation de ces produits étaient de  $452 \pm 356$  mg/j pour l'EPA,  $127 \pm 132$  mg/j pour le DPA et  $786 \pm 612$  mg/j pour le DHA.

## 5.2. Aliments contributeurs

Les viandes, produits à base de viande, volailles et œufs représentent environ 67 % de l'apport moyen en ARA, et les huiles végétales, margarines et sauces à base de matières grasses représentent environ 33 % de l'apport moyen de LA dans la population de l'étude SU.VI.MAX.

L'apport d'ALA apparaît principalement d'origine animale (75 %) dans l'étude Aquitaine, ce qui n'est pas le cas dans l'étude SU.VI.MAX puisque cette origine ne représente que 40 % de l'apport. En revanche, la contribution des matières grasses végétales considérées en tant que telles (huile, certaines margarines) à l'apport d'ALA est faible dans les deux études (environ 9 % et 6 %).

Les œufs représentent environ 10 % de l'apport moyen de DHA dans la population de l'étude SU.VI.MAX., soit 27 mg/j.

Si les poissons et produits de la mer sont la principale source d'EPA et de DHA, les produits d'animaux terrestres et notamment les viandes et les volailles contribuent majoritairement à l'apport en DPA (Astorg *et al.*, 2004).

---

<sup>5</sup> au moins 2 fois par semaine.

### 5.3. AGPI n-3 et n-6 et santé humaine

Cette relation est traitée dans une revue bibliographique complète réalisée dans le cadre de la réactualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras (Anses, 2011 en cours de finalisation).

## 6. Aspects analytiques

### 6.1. Méthodes de dosages

De nombreuses méthodes analytiques (Juanéda *et al.*, 2007) ont été proposées pour le dosage des AG. Le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépendra surtout du but à atteindre et de la matrice à analyser.

Les sous-chapitres suivants résument les différentes techniques analytiques pour l'analyse de ces lipides. En matière d'analyse d'AG, il ne faut absolument pas négliger les étapes d'extraction et de dérivation.

#### 6.1.1.Extraction

L'étape d'extraction va conditionner toute la suite de l'analyse. Le mélange chloroforme/méthanol est universellement utilisé aussi bien pour les produits carnés que pour les produits laitiers. Les méthodes de Folch *et al.* (1957) et de Bligh et Dyer (1959) sont applicables et les résultats sont identiques.

Pour les produits laitiers, les solvants moins polaires, comme l'hexane, l'isopropanol, le diéthyléther (Jensen *et al.*, 1997 ; Sehat *et al.*, 1998 a) sont couramment utilisés. L'extraction à l'hexane/sulfate de sodium (Fritsche et Steinhart, 1997) est facile à mettre en œuvre pour les matières grasses provenant de l'écémage du lait.

Les méthodes de Soxhlet et de Röese-Gottlieb (1996) sont aussi utilisées. Ces différentes méthodes d'extraction ont été comparées dans un travail récent par Manirakiza *et al.* (2001).

Il existe des méthodes d'extraction des lipides au CO<sub>2</sub>. Elles peuvent être intéressantes, notamment sur les matières volatiles, mais se sont peu développées, en raison d'un coût important. De plus, le CO<sub>2</sub> étant un solvant apolaire, il faut ajouter un solvant pour les lipides.

#### 6.1.2.Dérivation

La dérivation des AG, en abaissant leur point de fusion et en diminuant leur polarité, permet de réduire le temps d'analyse et d'obtenir de meilleures séparations des pics en chromatographie.

La dérivation la plus usuelle est l'estérification (figure 2), surtout sous forme d'esters méthyliques d'AG. L'estérification des AG des lipides peut être effectuée en deux étapes (saponification puis estérification) ou directement par trans-estérification.

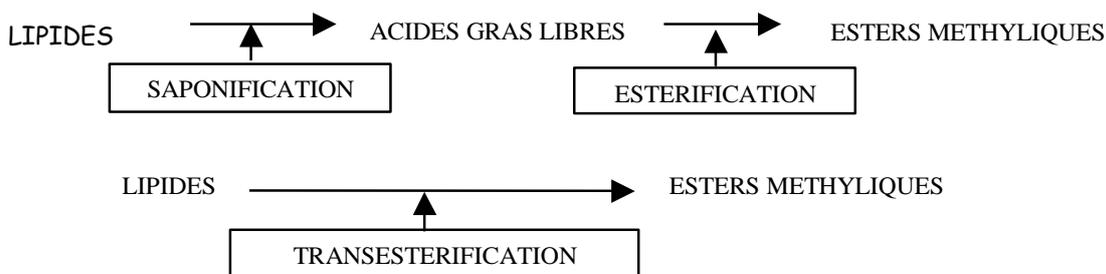


Figure 2 : Principes de l'estérification et de la trans-estérification.

Les AG libres sont estérifiés directement (pas de trans-estérification possible) en milieu acide ou avec du diazométhane.

Les lipides simples (glycérides, esters de cholestérol) et certains lipides complexes (phospholipides) sont le plus souvent trans-estérifiés soit en milieu acide (souvent à fortes températures en présence de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou HCl ou BF<sub>3</sub>/méthanol), soit en milieu alcalin (à températures plus basses au maximum 40-50 °C, le plus souvent avec du méthanolate de sodium). Dans les cas particuliers d'aliments riches en AG courts, on peut avoir recours à des esters butyliques ou isopropyliques d'AG ou des esters de diazométhane pour les rendre moins volatils.

Le mélange entre les lipides neutres et polaires implique une trans-méthylation. Les lipides neutres étant peu solubles dans le méthanol, il faut ajouter au BF<sub>3</sub>-méthanol un autre solvant (Morrisson et Smith, 1964). Avec de l'hexane, tous les composés ne se méthylent pas complètement alors que le toluène permet une bonne méthylation.

Si on recherche les CLA, il convient d'utiliser une trans-estérification basique à température modérée pour éviter l'isomérisation des formes *cis* en formes *trans* et les pertes de CLA en dérivés méthoxy (Kramer *et al.*, 1997 ; Berdeaux *et al.*, 1998).

Pour l'analyse des AG du lait, il existe deux possibilités :

- dérivation en esters isopropyliques ou butyliques ou en esters méthyliques,
- dérivation en esters méthyliques avec coefficient de correction.

Les deux possibilités donnent des résultats comparables après analyse en CPG.

### 6.1.3. Chromatographie en phase gazeuse

La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) à Détection à Ionisation de Flamme (DIF) est la méthode d'analyse la plus couramment utilisée pour le dosage des AG.

En effet, en injectant directement en CPG-DIF un extrait estérifié d'un corps gras dont la composition en AG est simple, on peut, dans la plupart des cas, doser facilement les AG principaux de cette matière grasse avec justesse. Ceci devient beaucoup plus difficile avec une matrice complexe comme la matière grasse laitière par exemple et encore plus compliqué si on veut quantifier de manière précise les isomères *trans*.

Le choix de la phase stationnaire est prépondérant. Pour une analyse des AG avec une phase stationnaire moyennement polaire (type FFAP, Carbowax,..), les esters méthyliques d'AG sortent dans l'ordre du nombre de carbones et de doubles liaisons, ce qui simplifie le dépouillement du chromatogramme. Mais ce type de phase ne convient en aucun cas pour la quantification des AG *trans*, en particulier pour les 18:1.

Dans le cas de matrice complexe, comme la matière grasse laitière ou des matrices contenant des AG *trans* et/ou conjugués, l'utilisation de phases très polaires (type BPX70, CP Sil88, SP2560, ...) est recommandée. De plus, l'obtention de résultats corrects nécessite des colonnes de grande longueur (100 à 120 m). La figure 3 montre la séparation obtenue pour les esters méthyliques (EM) de 18:1 *trans* de lait entre une Supelcowax et une CP Sil88 (Kramer *et al.*, 2002).

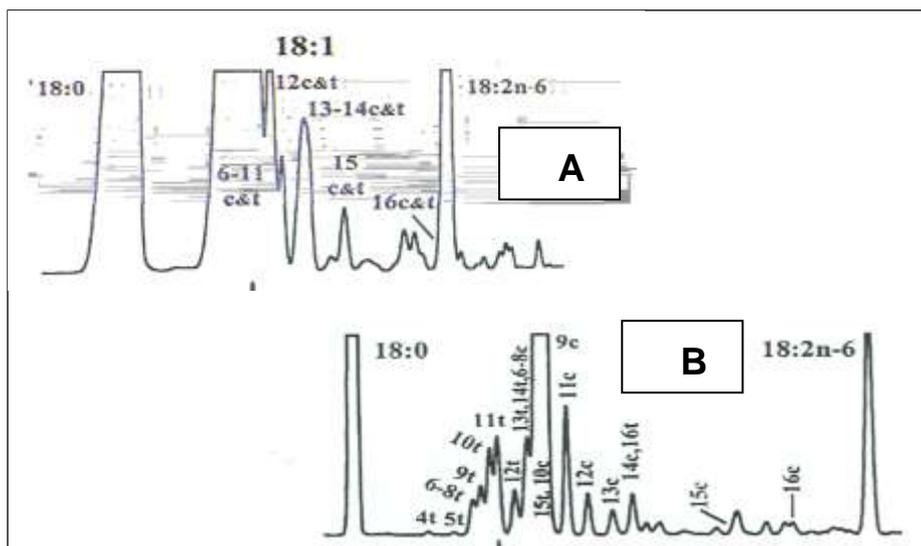


Figure 3 : Chromatogramme partiel d'esters méthyliques de lait avec une Supelcowax (A) et une Sil 88 (B)

De même, le tableau 6 montre la différence d'éluion pour le LA et l'ALA entre deux colonnes identiques par leur caractéristique physique mais différente par la phase stationnaire (le programme de température étant le même).

Tableau 6 : Ordre d'éluion des 18:2 et 18:3 sur DBwax et BPX70.

	DBwax, 30 m x 0,25 mm, 0,25 $\mu$ m	BPX70, 30 m x 0,25 mm, 0,25 $\mu$ m
18:2 $\Delta$ 9,12	cc + tt<ct<tc	tt<ct<tc<cc
18:3 $\Delta$ 9,12,15	cct<ccc + ttt+ ctt<tct<ttc<ctc + tcc	ttt<ctt<tct<ttc + cct<ctc<tcc<ccc

Dans la zone chromatographique des 18:1/18:2 (figure 4), des AG mineurs *trans-cis*, *cis-trans* et *trans-trans* isomères du LA co-éluent avec d'autres isomères 18:1-*cis* et avec certains AG mineurs comme le 19:0.

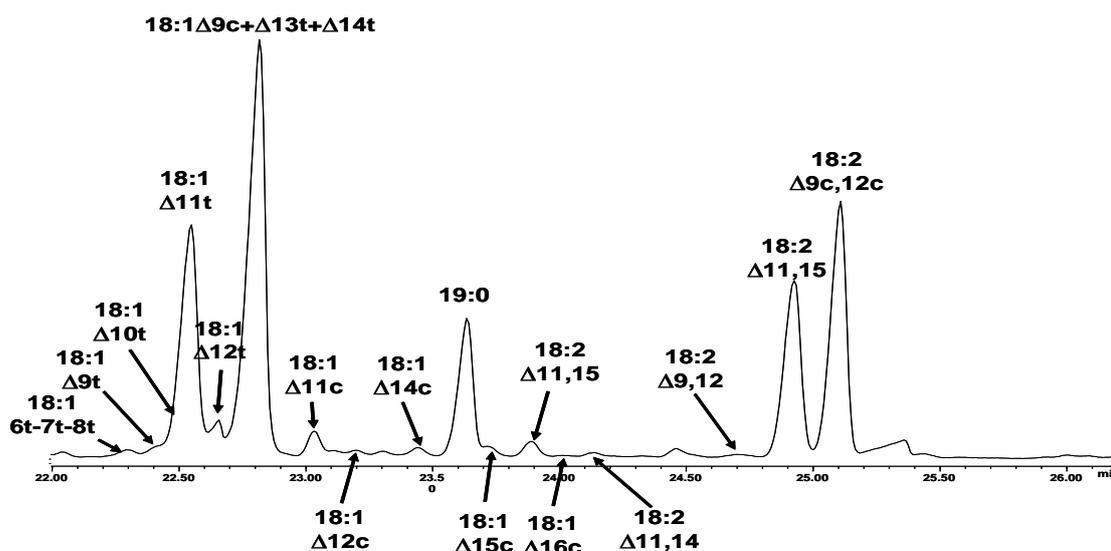


Figure 4 : Chromatogramme partiel d'EM de lait, colonne CP Sil 88 100 m.

Le choix des programmations de température influe aussi sur les résultats obtenus avec la séparation des isomères *cis/trans* 18:1. Les erreurs dues aux co-élutions peuvent être très importantes, jusqu'à 40 % (Wolff *et al.*, 1998). Pour une même colonne CP Sil 88 de 100 m, les % d'erreurs peuvent varier de 5 à 40 % selon la programmation de température utilisée (annexe 4).

Quant à l'analyse des CLA, elle se heurte également à des problèmes de co-élution avec des AG non octadécadiènes et non conjugués, même si c'est à un moindre degré. Selon le type de colonne utilisée et la matière grasse étudiée, l'analyste pourra rencontrer des problèmes de recouvrement des pics des 18:2 conjugués avec celui du 21:0 (colonne CP Sil88) et ceux d'isomères du 20:1 (colonne BPX70). De plus, en CPG "directe", des co-élutions isomériques sont inévitables (Christie *et al.*, 2001). Même dans des conditions chromatographiques optimisées, les CLA apparaissent en 3 groupes (*trans/cis*, *cis/cis*, puis *trans/trans* dans l'ordre d'élution). Chaque groupe est constitué de plusieurs pics contenant chacun plusieurs isomères conjugués. Ainsi, l'acide ruménique 18:2 9*c*,11*t* co-élue avec les 18:2 6*t*,8*c*, 7*t*,9*c* et 8*t*,10*c*. On peut toutefois évaluer l'ampleur de ce biais lors de la mesure par CPG de l'acide ruménique en utilisant l'équation suivante (Roy *et al.*, 2006) entre le pic de "9*c*,11*t* + 3 coéluels (6*t*,8*c*+7*t*,9*c*+8*t*,10*c*)" obtenu par CPG sur CPSil88 et le pic spécifique de 9*c*,11*t* obtenu par CLHP nitrate argent : pic CPG = 1.011 pic CLHP + 0.110 (% AG totaux du lait) ( $r^2 = 0,996$  sur 35 lots de vaches recevant des régimes alimentaires très variés) qui montre que la somme des 3 coéluels ne varie potentiellement qu'entre 0,11 et 0,18 % des AG totaux quand on passe de laits très pauvres (0,2 %) à des laits très riches (6 %) en acide ruménique.

#### **6.1.4. Utilisation de la chromatographie en phase liquide pour le fractionnement des lipides et esters méthyliques**

Pour obtenir des résultats justes et fiables, le fractionnement des matières grasses à l'aide de la chromatographie en phase liquide (CPL) avant l'analyse en CPG est fortement recommandé. Ces manipulations augmentent le coût et la durée de l'analyse mais pour un résultat certain. Plusieurs techniques de CPL sur couche mince ou sur colonne sont proposées pour cette séparation ; aucune technique ne permet actuellement d'arriver à un résultat complet en un seul fractionnement. L'utilisation de l'une ou l'autre des techniques dépendra de la matrice étudiée, des AG à doser...

##### **6.1.4.1. Fractionnement par chromatographie liquide haute performance**

La CLHP en phase inverse permet de séparer les AG selon un nombre "apparent" de carbones correspondant au nombre de carbones réel moins 2 fois le nombre de doubles liaisons. Ainsi, les AG 14:0, 16:1 et 18:2 (correspondant à 14 carbones "apparents") seront séparés dans une même fraction ainsi que les isomères correspondants. Il est donc possible de séparer ainsi l'ensemble des 18:3, des 18:2 et des 18:1. Chaque fraction peut ensuite être injectée en CPG pour doser individuellement chacun des AG. Cette technique permet entre autre de séparer facilement les isomères *cis* des *trans* du 18:1. La figure 5 présente la séparation des isomères *cis/trans* du 18:1 (Juanéda, 2002).

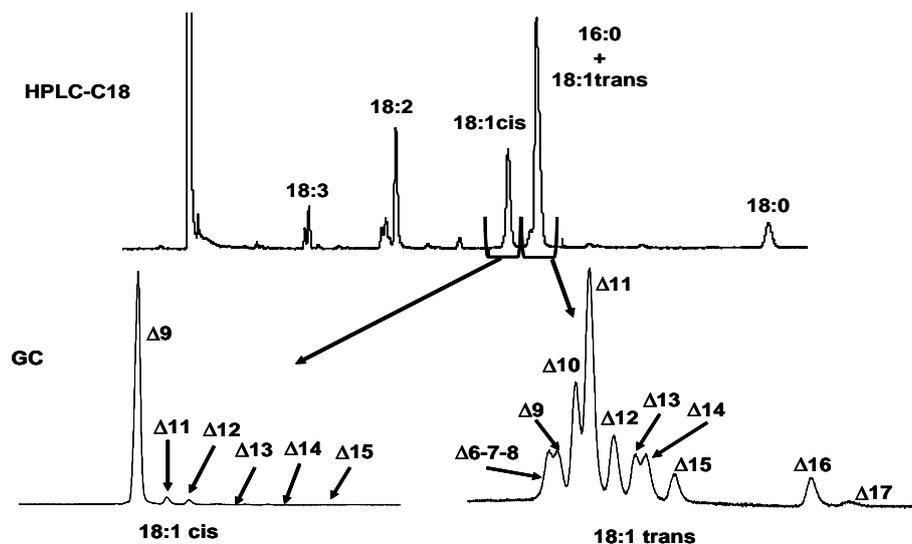


Figure 5 : Séparation par CLHP d'EM de lait. Chromatogramme partiel des fractions 18:1 par CPG.

#### 6.1.4.2. Fractionnement par chromatographie au nitrate d'argent

La séparation en CPL au nitrate d'argent des isomères géométriques est basée sur la propriété des isomères *trans* à former avec les sels d'argent des composés différents et plus instables que ceux formés avec les isomères *cis*. Le volume de rétention dépend essentiellement de la configuration géométrique des liaisons éthyléniques mais également du degré d'insaturation et de la position des doubles liaisons sur la chaîne carbonée. Ce principe peut être appliqué en chromatographie sur couche mince (CCM) ou en CLHP.

##### 6.1.4.2.1. Chromatographie sur Couche Mince au nitrate d'argent

Pour les détails des conditions opératoires, on se reportera aux travaux de Precht et Molquentin (1999) et de Wolff *et al.* (1995). Cette technique est facile à mettre en œuvre et répétable, en revanche, elle n'est pas automatisable et allonge les temps d'analyse d'une à deux journées.

##### 6.1.4.2.2. Chromatographie Liquide Haute Performance au nitrate d'argent

Plusieurs tentatives ont été menées pour adapter l'Ag-CCM à l'Ag-CLHP, le problème majeur étant l'obtention de la phase stationnaire stable. Actuellement, une colonne commerciale ChromSpher 5 lipids® (Varian) peut donner des résultats satisfaisants.

L'utilisation de l'Ag-CLHP pour la séparation des isomères de position des CLA a permis une avancée intéressante pour leur identification mais au prix d'une augmentation conséquente du coût (2 à 6 colonnes en série pour une bonne séparation) et du temps d'analyse (2 heures, Juanéda *et al.*, 1994 ; Sehat *et al.*, 1998 b ; Eulitz *et al.*, 1999).

Contrairement à l'Ag-CCM, cette technique est automatisable ; cependant, les colonnes sont coûteuses et fragiles. De plus, il semble difficile d'obtenir une bonne répétabilité d'une colonne à l'autre et parfois d'une analyse à l'autre.

Ces techniques séparatives sont très utiles dans le milieu de la recherche mais il n'est pas envisageable de les imposer en tant qu'analyse de routine dans les laboratoires de contrôle.

#### 6.1.5. Autres techniques possibles

Pour mémoire, il existe d'autres possibilités pour la détermination des isomères géométriques des AG comme la spectroscopie à infra rouge à transformée de Fourier (IRTF), la spectroscopie à infra rouge à réflexion totale atténuée (RTA), la spectroscopie

IRTF couplée à la CPG, la CPG couplée à la spectrométrie de masse et la CLHP couplée à la spectrométrie de masse.

## 6.2. Conclusion

La complexité de la matrice influe sur le type d'extraction et sur la détermination (en %) de la matière grasse ; la nature des lipides d'un aliment (neutres ou polaires) conditionne également la méthode d'extraction. De plus, la nature chimique des lipides (triacylglycérols, phospholipides, esters de cholestérol...), la présence d'AG libres mais aussi la nature des AG eux-mêmes, déterminent le choix de l'estérification pour les récupérer tous quantitativement et sous leur forme d'origine (sans isomérisation artéfactuelle) ; la complexité des AG d'une matrice donnée conditionne la séparation chromatographique des isomères *trans* de leurs homologues *cis* et influe sur la qualité du dosage des AG totaux.

L'hétérogénéité des matrices alimentaires, la nature des lipides et la diversité en AG réduisent les possibilités d'utiliser une seule méthodologie analytique "universelle" pour tout type d'aliment.

La séparation et la quantification en CPG des isomères *trans* d'AG dans les aliments ont fait des progrès considérables avec l'apparition des colonnes de grandes longueurs et de fortes polarités. Cependant, même avec ces nouvelles colonnes, la CPG directe sous-estime les taux d'AG *trans* totaux à cause de co-élutions de certains isomères *trans* avec des isomères *cis* ou des AGS. Cet inconvénient peut être surmonté en effectuant des fractionnements de la matière grasse en CLHP de phase inversée ou par chromatographie d'argentation (CCM ou CLHP). Malheureusement, aucune de ces techniques ne permet l'obtention de chaque type d'AG *trans* en un seul fractionnement ; chaque cas réclame un fractionnement plus ou moins spécifique et une injection individuelle en CPG de la fraction concernée pour arriver à une quantification du taux de chaque groupe d'AG *trans*, et en final à la somme totale des AG *trans*. L'analyse précise des différentes formes isomériques des CLA est un exemple typique de ces difficultés analytiques. Ces techniques élaborées sont précises et justes et donnent d'excellents résultats même pour des matrices très complexes. En revanche, elles sont coûteuses en temps, en investissement, en fonctionnement et en personnel qualifié. Ces techniques sont donc essentiellement dévolues à la recherche et mal adaptées aux contrôles de routine, notamment dans le cadre d'un étiquetage de produits alimentaires pour leurs teneurs en AG *trans*.

## B Digestion et métabolisme chez l'animal de rente

---

Les lipides retrouvés dans les denrées alimentaires d'origine animale ont deux origines :

- Pour une part, il s'agit de lipides apportés aux animaux de rente par les aliments (fourrages ou aliments concentrés). Ces lipides représentent tout ou partie de la matière première (de quelques % pour les fourrages, tourteaux et céréales à 100 % pour les huiles végétales ou les huiles de poisson). Ces lipides sont des triacylglycérols, sauf dans le cas des feuilles et tiges de fourrages qui contiennent des galactolipides et des phospholipides. D'autres formes d'apport de lipides, résultant d'un traitement technologique (destinés théoriquement à protéger les matières grasses de l'hydrogénation ruminale), peuvent être utilisées chez les ruminants, par exemple des savons calciques (aussi appelés sels calciques) d'AG.

En plus de leur rôle énergétique, ces lipides alimentaires apportent aux animaux des AG essentiels qu'ils ne peuvent synthétiser.

- Les autres lipides retrouvés dans les produits d'origine animale sont issus de la synthèse endogène *de novo*. Les AG d'origine alimentaire sont remaniés du fait du métabolisme de la flore digestive (en particulier chez les ruminants) ou des différents tissus (en particulier le foie et le tissu adipeux), ce qui explique que les AG stockés dans les tissus et donc retrouvés dans les produits destinés à la consommation humaine, puissent différer considérablement des AG ingérés, en fonction des espèces animales considérées.

### 1. Monogastriques

#### 1.1. Digestion et absorption des lipides alimentaires

##### 1.1.1. Digestion

Les mouvements de contraction et de malaxage dans l'estomac (ou le gésier chez les oiseaux) ainsi que l'action des enzymes lipolytiques contribuent à la libération des lipides alimentaires et à leur solubilisation sous forme d'une émulsion grossière et instable. A l'entrée du duodénum, les gouttelettes lipidiques sont considérablement réduites par l'action des sels biliaires conjugués qui permettent de stabiliser l'émulsion, d'accroître la surface de contact entre les lipides et la phase aqueuse intra-luminale et de favoriser l'adsorption de la lipase pancréatique en association avec la colipase. La lipase hydrolyse les triglycérides en AG libres et en 2-monoglycérides. D'autres enzymes, également d'origine pancréatique (cholestérol-estérase et phospholipases) sont également impliquées dans les processus d'hydrolyse de composés quantitativement mineurs (esters de cholestérol et phospholipides) conduisant à la libération d'AG et de composés moins hydrophobes (cholestérol, lysophospholipides) qui forment, avec les sels biliaires, des micelles mixtes constituant la forme principale d'absorption des lipides.

##### 1.1.1.1. Absorption

Les AG ayant 10 atomes de carbone ou moins, et une partie des AG ayant entre 12 et 16 C, peuvent être absorbés dès l'estomac sous forme moléculaire dispersée dans la phase aqueuse. Les produits d'hydrolyse associés aux micelles (AG, monoglycérides et autres composés mineurs liposolubles) sont principalement absorbés dans le jéjunum et dans une moindre mesure, au niveau du duodénum. L'absorption se produit à travers la bordure en brosse des entérocytes. Dans l'entérocyte, le glycérol et les AG ayant 10 C ou moins sont catabolisés ou transférés au foie par la veine porte sous forme d'AG libres tandis que les monoglycérides sont rapidement réestérifiés en triglycérides avec les AG plus longs, sans modification majeure de la structure de ces AG. L'entérocyte assure aussi la synthèse de

glycéro-phospholipides, d'esters du cholestérol et d'apolipoprotéines qui, avec les triglycérides, forment les chylomicrons, lipoprotéines spécifiquement dédiées au transport des AG d'origine alimentaire. Ces derniers traversent la membrane basale de l'entérocyte, sont transférés aux espaces intercellulaires puis à la lymphe et gagnent ensuite la circulation sanguine par le système veineux. Chez les oiseaux, le système lymphatique intestinal est peu développé et les lipides sont secrétés dans le système porte hépatique sous forme de portomicrons, dont la composition et le métabolisme sont analogues à ceux des chylomicrons (Bensadoun et Rothfeld, 1972 ; Griffin *et al*, 1982).

#### 1.1.1.2. Variabilité de la digestibilité

La digestibilité est la proportion d'un nutriment, ici les lipides, qui ne se retrouve pas dans les excréta. Chez les monogastriques, de nombreux facteurs sont susceptibles de faire varier la digestibilité des lipides, en particulier, leur nature et leur composition en AG, leur taux d'incorporation dans l'aliment et l'âge de l'animal. L'utilisation digestive diminue lorsque la longueur du chaînon carboné augmente ( $18 < 16 < 14 < 12$ ). Ainsi, lorsque ces AG sont distribués sous forme libre, leur digestibilité varie de 65 % pour le 12:0, à 0 % pour le 18:0 (Renner et Hill, 1961). A l'inverse, à nombre d'atomes de carbone identique, la digestibilité augmente lorsque le nombre de doubles liaisons augmente [ $18:2 \text{ n-6 (LA)} > 18:1 \text{ n-9} > 18:0$ ]. En pratique, ces AG ne sont pas consommés sous forme libre mais sous forme de triglycérides essentiellement. Compte tenu des interactions entre AG et de leur position sur la molécule de glycérol, les digestibilités des AG saturés sont plus élevées que celles mentionnées ci-dessus (distribution sous forme libre) mais restent inférieures à celles des AG insaturés. Les huiles végétales insaturées sont donc mieux utilisées que les graisses saturées (Wiseman, 1984). La digestibilité des lipides, en particulier de ceux riches en AGS, diminue lorsque leur taux d'incorporation dans l'aliment augmente (Wiseman, 1984). Elle est également plus faible chez les jeunes animaux que chez les sujets plus âgés (Lessire *et al.*, 1982) car chez les premiers, la production de sels biliaires est limitante (Kussaibati *et al.*, 1982). Dans des conditions normales d'alimentation, la digestibilité des matières grasses chez les monogastriques varie de 80-85 % pour les plus saturées (suif, huile de palme) à plus de 95 % pour les huiles végétales insaturées (Maertens *et al.*, 1985 ; Santomá *et al.*, 1987 ; Lessire, 2002). Dans les conditions pratiques d'alimentation, l'apport d'une faible proportion d'huile végétale très insaturée suffit à assurer une digestibilité importante des matières grasses les plus saturées.

Par ailleurs, la présence d'ions bivalents tels que le  $\text{Ca}^{++}$  dans le milieu intestinal entraîne la formation de savons avec les AG libres. Ces savons sont insolubles dans le cas des AGS ; ils précipitent, passent ainsi en phase solide et sont perdus pour l'absorption. Ce phénomène est observé pour des teneurs alimentaires en Ca de l'ordre de 1 % chez le porc (Wiseman et Cole, 1983), le lapin (Maertens *et al.*, 1985) et la poule pondeuse (Atteh et Leeson, 1985). Chez le poulet, la valeur énergétique de la graisse, en relation directe avec sa digestibilité, est également réduite par des apports importants de Ca (2 % du régime) (Kussaibati *et al.*, 1983).

#### 1.1.1.3. Bilan de la digestion des AG

Dans des conditions pratiques d'alimentation, il existe peu de différences globales de composition entre les AG alimentaires et ceux qui sont finalement absorbés et mis en circulation dans les lipoprotéines d'origine intestinale : les remaniements ou la synthèse *de novo* d'AG sont négligeables dans la sphère digestive. De plus, quantitativement, la digestibilité des AG est très élevée (> 85 %) à l'exception de celle des AGS (moins digestibles en l'absence de matières grasses insaturées et potentiellement précipités par le calcium).

### 1.1.2.Lipogenèse

La synthèse *de novo* des AG est assurée par le foie, le tissu adipeux et la mamelle (en période de lactation) à partir des glucides alimentaires dont la dégradation aboutit à la formation d'acétyl-CoA puis à la synthèse de 16:0. Une partie du 16:0 est ensuite allongée en 18:0 et partiellement désaturée par la  $\Delta 9$  désaturase pour aboutir à l'acide oléique (18:1 9c). Par ailleurs, l'ingestion d'un aliment riche en lipides inhibe la synthèse *de novo* des AG.

Aucun des animaux d'élevage n'est capable de transformer le 18:1 9c en LA et ALA du fait de l'absence des désaturases correspondantes en  $\Delta 12$  et  $\Delta 15$ . Ils sont donc tributaires des apports alimentaires en ces AG. Ceux-ci peuvent ensuite être convertis en AGPI à longue chaîne (AGPI-LC) (ARA, EPA, DPA et DHA) grâce à des désaturases ( $\Delta 5$  et  $\Delta 6$ ) et élongases communes.

Les AG sont ensuite estérifiés en triglycérides essentiellement mais aussi en esters de cholestérol et en phospholipides. Dans le tissu adipeux, ces triglycérides sont stockés *in situ* ; dans la mamelle, ils sont exportés dans le lait ; dans le foie, ils s'associent aux autres molécules lipidiques (cholestérol libre et estérifié, et phospholipides) et à des protéines spécifiques (apolipoprotéine B essentiellement) pour former des lipoprotéines, les VLDL (Very Low Density Lipoprotein). Ces VLDL sont exportées dans le système veineux par le foie. Elles constituent la principale forme d'apport des AG synthétisés par le foie aux autres tissus. Cependant, les AGPI sont préférentiellement estérifiés sous forme de phospholipides. Ces molécules sont exportées par le foie sous forme de HDL qui représente la principale classe de lipoprotéines chez les espèces de rente et constituent ainsi, du fait de leur richesse en phospholipides et en esters de cholestérol, le principal réservoir plasmatique des AGPI circulants.

### 1.1.3.Métabolisme et stockage des AG

Les triglycérides des chylomicrons (ou portomicrons chez les oiseaux) et des VLDL sont hydrolysés dans le plasma au contact des tissus ayant sécrété la lipoprotéine lipase. Les AG libérés par hydrolyse sont captés par les cellules où ils suivent des voies métaboliques complexes qui diffèrent selon les tissus. Certains sont allongés et désaturés par le foie pour fournir des dérivés à longue chaîne, d'autres sont oxydés par le foie et les muscles à des fins énergétiques, d'autres enfin sont réestérifiés en triglycérides pour être stockés (cas des tissus adipeux) ou exportés dans le lait (cas de la mamelle).

## 1.2. Particularités chez le porc

Les données rapportées dans ce chapitre viennent d'une publication de synthèse de Henry (1977) réactualisée (Mourot, 2001).

La lipogénèse est particulièrement importante dans cette espèce, puisqu'elle est à l'origine de près de 80 % des lipides déposés dans les tissus adipeux où elle est essentiellement localisée. La part de la synthèse hépatique est faible, surtout après le sevrage. Les tissus adipeux diffèrent entre eux en termes de capacité de synthèse lipidique. Celle-ci est plus élevée dans les tissus adipeux de couverture que dans les autres tissus adipeux, à l'exception de la panne (tissu adipeux interne que l'on peut considérer comme une suite du tissu adipeux périrénal). Ce dernier tissu adipeux semble présenter la synthèse lipidique la plus active. Au niveau du muscle, il existe un tissu adipeux intramusculaire constitué d'adipocytes groupés le long des faisceaux de fibres musculaires avec quelques adipocytes isolés à l'intérieur de ces faisceaux, le long des fibres. La capacité de synthèse lipidique est liée au nombre d'adipocytes. Les types génétiques majoritairement utilisés en production porcine ont des activités de synthèse lipidique plus faibles que les races locales ou non sélectionnées.

### 1.3. Particularités chez le lapin

Les éventuelles particularités spécifiques à la digestion des lipides chez le lapin ont fait l'objet de fort peu d'études. Les différents auteurs s'accordent pour considérer que les processus sont généralement similaires à ceux décrits chez les mammifères monogastriques (Freeman, 1984 ; Cheeke, 1987 ; Fekete, 1988 ; Xiccato, 1998), du moins dans la partie antérieure du tube digestif : estomac et intestin grêle. Il faut toutefois mentionner le rôle de la lipase gastrique qui intervient dans la libération des AG de longueur de chaîne inférieure à 16 C (Perret, 1980 et 1982). Contrairement à ce qui est observé dans les autres espèces domestiques, ces AG sont particulièrement abondants dans le lait de lapine, en particulier le 8:0 et le 10:0 qui peuvent représenter plus de 50 % des AG totaux (Lebas *et al.*, 1996). Ils sont très rapidement absorbés à travers la muqueuse stomacale (Perret, 1980). Ils sont retrouvés dans les lipides corporels pendant plusieurs semaines après l'arrêt de l'alimentation lactée (Ouhayoun *et al.*, 1985). Cela peut avoir un impact sur la composition en AG de la carcasse, l'abattage ayant lieu actuellement 5 semaines après le sevrage.

Les lipides non hydrolysés et les fractions non absorbés dans l'intestin grêle passent ensuite dans le cæcum où, sous l'action de la flore caecale, les AG sont en partie hydrogénés. Une partie sera excrétée sous forme de savons de calcium dans les fèces dures du lapin (Fernández *et al.*, 1994 ; Gidenne, 1996). Sous l'action de la flore caecale, la proportion des AG à chaîne inférieure à 16 C augmente tandis que celle des AG en LA et ALA diminue. La proportion des AG à nombre impair de carbones (15:0 et 17:0) augmente aussi (Fernandez *et al.*, 1994) de même qu'apparaissent des CLA (Gómez-Conde *et al.*, 2004) et des AGPI-LC de la famille n-3 (Castellini *et al.*, 2002). Une partie de ces lipides néoformés sous l'action de la flore caecale est ensuite digérée dans l'intestin grêle du lapin comme les lipides alimentaires stricts grâce à l'ingestion des caecotrophes (crottes molles particulières élaborées dans le côlon proximal à partir du contenu caecal et systématiquement ingérées par le lapin). Cet apport de lipides modifiés ou néoformés récupérés par la caecotrophie représente environ 10 à 14 % des lipides obtenus par voie alimentaire (Castellini *et al.*, 2002 ; Gómez-Conde *et al.*, 2004).

Le foie et le tissu adipeux réalisent la majeure partie de la synthèse *de novo* d'AG par l'organisme. Cependant, tous les sites de dépôts adipeux ne présentent pas la même capacité de lipogenèse *de novo*. Au stade commercial d'abattage, les dépôts adipeux internes présentent une capacité lipogénique totale supérieure à celle exprimée dans les dépôts sous-cutanés.

Contrairement à ce qui est observé chez les autres monogastriques, le substrat lipogénique préférentiel semble l'acétate et non le glucose. L'efficacité de l'acétate comme précurseur des AG correspond au particularisme digestif du lapin chez qui de fortes quantités d'AG volatils sont produites et absorbées par le caecum. Les mécanismes de la lipogenèse chez le lapin présentent donc des caractéristiques communes à la fois aux ruminants (utilisation de l'acétate) et aux monogastriques (capacité à convertir le pyruvate en AG) (Gondret, 1998).

### 1.4. Particularités chez les volailles

Chez les oiseaux en général et les volailles en particulier, le métabolisme des lipides est très voisin de ce qui est connu chez les mammifères monogastriques. Cependant, quelques particularités concernent les formes de transport des lipides alimentaires (cf. 1.1.1.1) et les sites de synthèse des lipides endogènes. De plus, la production de foie gras et d'œufs est une spécificité des volailles liée au rôle majeur du foie dans le métabolisme lipidique chez ces espèces.

#### 1.4.1. Synthèse endogène

Chez les volailles, contrairement aux mammifères d'élevage :

- la synthèse *de novo* des AG se fait principalement dans le foie (Leveille *et al.*, 1968 ; Griffin *et al.*, 1992). Elle est négligeable dans le tissu adipeux et dans l'ovaire (Saadoun et Leclercq, 1987 ; Griffin *et al.*, 1992).

- la désaturation hépatique en  $\Delta 9$  est particulièrement intense ce qui conduit à une production importante de 18:1 9c (Bottino *et al.*, 1970).

Dans le foie, la synthèse des triglycérides à partir des AG ainsi que l'assemblage et la sécrétion des VLDL sont globalement identiques à ce qui est connu chez les mammifères, de même que les modes de régulation par les nutriments et les hormones (hormis le cas des œstrogènes lors de la vitellogenèse). Contrairement aux mammifères monogastriques, la synthèse *de novo* des AG est très faible dans le tissu adipeux, qui se développe par accumulation des AG alimentaires (et de leurs dérivés) et de ceux issus de la lipogenèse hépatique.

#### 1.4.2. Stéatose hépatique des palmipèdes gavés (Foie gras)

Les oiseaux sont naturellement aptes à développer une stéatose hépatique. Ce phénomène se produit spontanément chez les oiseaux migrateurs, le foie contribuant ainsi à la mise en réserve de l'énergie nécessaire au trajet. Cette aptitude est mise à profit pour la production du foie gras par gavage de différentes espèces de palmipèdes au moyen d'un aliment riche en glucides (maïs). La synthèse des triglycérides, ainsi stimulée, excède très rapidement les capacités de sécrétion sous forme de VLDL, conduisant à une stéatose massive où les lipides (à plus de 90 % des triglycérides) peuvent représenter plus de 50 % du poids du foie (Hermier *et al.*, 1999). Les AG du foie gras sont représentés essentiellement par du 18:1 9c (50 %) et du 16:0 (30 %), les AGPI étant présents à hauteur de 2 % maximum (Hermier *et al.*, 1999).

#### 1.4.3. Vitellogenèse

L'ovaire ne possédant pas la capacité de synthétiser des AG et de les estérifier, les lipides retrouvés dans le jaune sont apportés par deux classes de lipoprotéines, les VLDL essentiellement et les vitellogénines, dont la synthèse hépatique est stimulée par les œstrogènes lors de l'entrée en ponte. Les VLDL des volailles en ponte sont plus riches en triglycérides que celle d'une femelle immature (Griffin *et al.*, 1982). Ces VLDL contiennent un inhibiteur de la lipoprotéine lipase, l'apoVLDL-II, qui n'est exprimée que lors de la ponte et qui les préserve d'un catabolisme extra-ovarien au profit d'une incorporation dans le jaune via un récepteur de l'apoB (Schneider *et al.*, 1990). Les vitellogénines contiennent majoritairement des phospholipides.

Les AGPI alimentaires sont apportés par les portomicrons qui doivent être partiellement hydrolysés par la lipoprotéine lipase afin de réduire leurs tailles et de leur permettre ainsi de franchir les différentes couches qui entourent l'ovocyte via le récepteur de l'apoB.

## 2. Polygastriques

### 2.1. Ruminants

Les spécificités de l'utilisation digestive et métabolique des matières grasses d'origine alimentaire chez le ruminant sont dominées par les effets de la digestion microbienne qui se déroule dans les pré-estomacs, principalement le rumen (ou panse).

## 2.1.1. Digestion ruminale

### 2.1.1.1. Lipolyse

La lipolyse des matières grasses alimentaires permet la libération des AG fixés sur un glycérol dans les galactolipides, les triglycérides et les phospholipides. Cette lipolyse est réalisée par des exo-enzymes bactériennes ; elle est considérée comme rapide et complète (Garton *et al.*, 1958 ; Dawson *et al.*, 1974). Elle peut cependant être modulée par le traitement des graines oléagineuses (Reddy *et al.*, 1994) et ralentie par un pH acide (Van Nevel et Demeyer, 1996) ou par une concentration importante d'AG (Beam *et al.*, 2000). Les AG libérés sont principalement adsorbés sur des particules alimentaires dans le contenu ruminal mais des AG insaturés peuvent aussi être incorporés dans les bactéries, en particulier du LA dans les bactéries adhérentes aux particules (Bauchart *et al.*, 1990).

### 2.1.1.2. Biohydrogénation

La biohydrogénation des AG insaturés est réalisée par des bactéries ruminales attachées aux particules. Elle est extra-bactérienne et ne concerne donc pas les AG incorporés aux bactéries, cette incorporation constituant ainsi une forme naturelle de protection des AG insaturés contre la biohydrogénation. Elle ne peut se faire qu'après la libération des AG par la lipolyse (Hawke et Silcock, 1969) ou la dissociation des savons calciques d'AG. Elle peut concerner tous les AG insaturés, les trois plus abondants dans les rations pour ruminants étant l'acide oléique (18:1 9c), le LA et l'ALA.

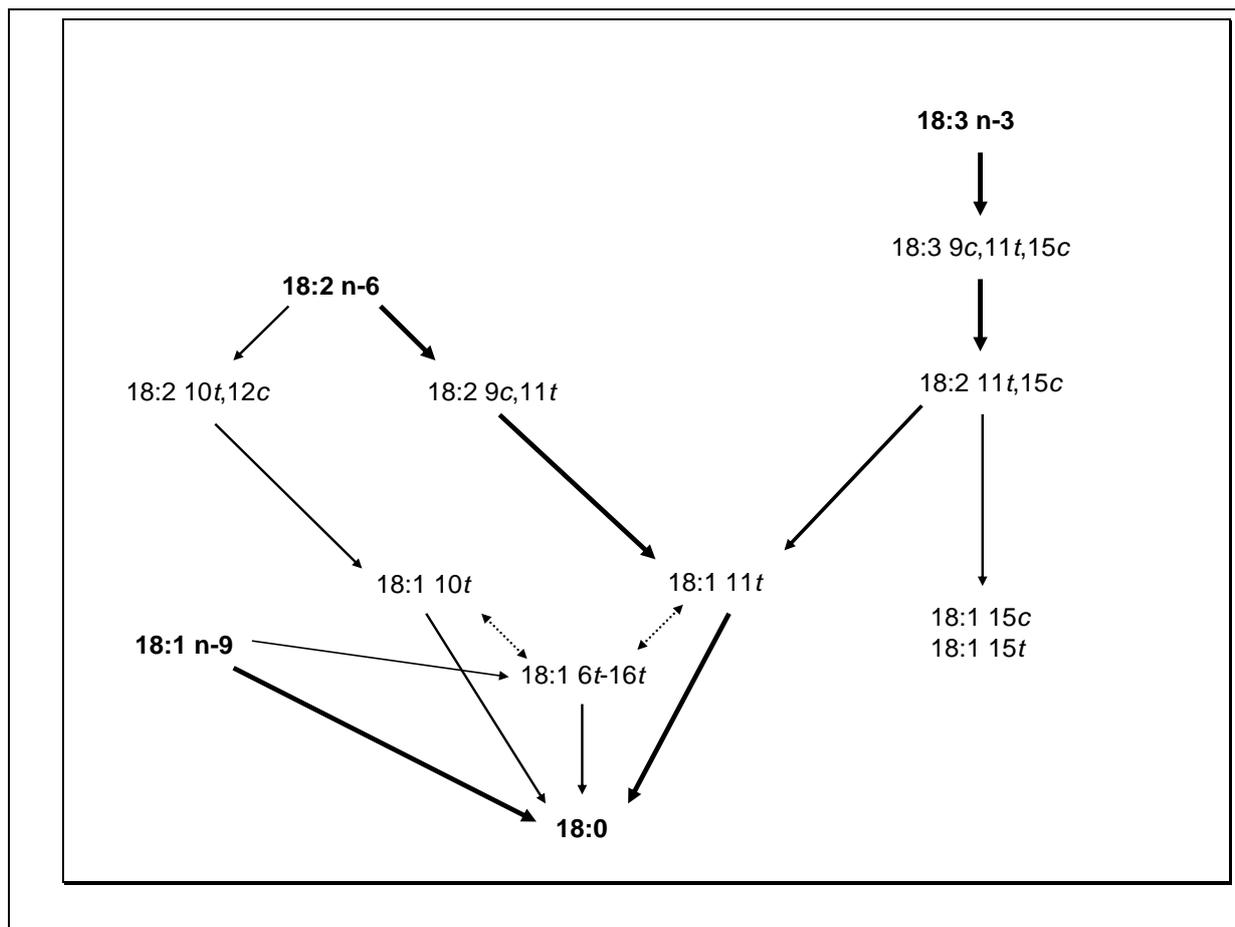
#### Modalités et intermédiaires

L'hydrogénation ruminale du LA se déroule en trois étapes (Figure 6) :

- isomérisation d'une des doubles liaisons, qui devient *trans* et se rapproche de l'autre, conduisant à deux isomères possibles appartenant à la famille des acides linoléiques conjugués (CLA) : l'acide ruménique (18:2 9c,11t) et le 18:2 10t,12c,
- réduction de la double liaison *cis*,
- réduction de la double liaison *trans*.

La dernière étape est réalisée par des bactéries différentes de celles réalisant les deux premières étapes (Harfoot et Hazlewood, 1988) et est plus lente que la précédente, si bien que le flux digestif quittant le rumen contient beaucoup plus de 18:1 *trans* que de CLA.

L'hydrogénation ruminale de l'ALA commence aussi par une isomérisation, conduisant à un acide alpha-linolénique conjugué (CLnA) (Kemp et Dawson, 1968). Elle se poursuit par trois réductions. La figure 6 montre qu'elle conduit à des doubles liaisons 11t et 15t.



En pointillés, voies hypothétiques.

**Figure 6 : Voies de la biohydrogénation ruminale des acides oléique, linoléique et alpha-linolénique (d'après Harfoot et Hazlewood, 1988 ; Griinari et Bauman, 1999 ; Loor et al., 2002 ; Proell et al., 2002).**

Les deux voies principales de biohydrogénation des AGPI sont donc les voies 10*t* et surtout 11*t*. L'isomérisation en 11*t* est dominante avec la majorité des rations utilisées en France. Mais la grande variété d'isomères de position de 18:2 non expliqués par ces deux voies montre que d'autres voies existent. En particulier, de nombreux autres isomères de position de 18:2 *trans*, conjugués ou non conjugués, ou de 18:1 *trans* (Loor et al., 2002 ; Loor et al., 2004 ; Loor et al., 2005b ; Loor et al., 2005c ; Akraim et al., 2006) ont été isolés dans des contenus digestifs d'animaux consommant des huiles de colza, soja, tournesol ou lin, ou des graines de lin. Parmi eux, les isomères 18:2 11*t*,13*t* et 18:1 13*t* + 14*t* sont particulièrement représentés, et contrairement à ce qui découle de la figure 6, sont parfois plus abondants que les isomères 15*t*. Ainsi, des rations riches en fibres et en ALA donnent naissance à des isomères contenant une ou plusieurs doubles liaisons en position 13 ou 14 (18:1 13+14*t*, 18:2 9*c*,13*t*, 18:2 11*t*,13*t*, 18:2 11*t*,13*c* et 18:2 12*t*,14*t*) (Roy et al., 2006).

L'hydrogénation ruminale du 18:1 9*c* a longtemps été considérée comme uniquement directe, conduisant sans intermédiaire à de l'acide stéarique (18:0) (Harfoot et Hazlewood, 1988). L'isomérisation d'une partie du 18:1 9*c* dans le rumen serait non négligeable, conduisant à la production d'isomères *trans* allant du 18:1 6*t* au 18:1 16*t*, le principal isomère étant l'acide élaïdique (18:1 9*t*) (Mosley et al., 2002 ; AbuGhazaleh et al., 2005). Celui-ci peut lui-même être converti en autres isomères positionnels de 18:1 *trans*, voire être reconverti en acide oléique ou en 18:1 11*c* (Proell et al., 2002).

### Importance quantitative et facteurs de variation

L'importance de la biohydrogénation est mesurée par la disparition des AG insaturés ou des doubles liaisons du substrat, et dépend donc à la fois de l'importance de la lipolyse et de l'importance de la première étape (*i.e.* l'isomérisation dans le cas des AGPI) mais aussi de la vitesse de transit des particules qui, en sortant du rumen, soustrait une partie des AG à la biohydrogénation. Dans la majorité des études, l'hydrogénation concerne plus de 70 % du 18:1 9c, plus de 80 % du LA et plus de 90 % des ALA, EPA et DHA (Enjalbert, 1995 ; Loor *et al.*, 2004 et 2005 c) si bien que le flux sortant du rumen contient beaucoup moins d'AG insaturés que la ration (tableaux 7 A et B). Considérée en termes de doubles liaisons saturées entre l'ingéré et le duodénum, l'hydrogénation moyenne est de l'ordre de 70 %. Cette valeur, plus faible que ce qui est observé pour les acides gras pris individuellement, s'explique principalement par la synthèse des AG intermédiaires CLA et 18:1 t.

La biohydrogénation ne diminue pas lorsque les apports alimentaires d'AG insaturés augmentent, la biohydrogénation ruminale des AG utilisant moins de 10 % de l'hydrogène moléculaire disponible dans le rumen (Czerkawski et Clapperton, 1984), si bien que dans les conditions pratiques, il ne semble pas y avoir de limite à la capacité de biohydrogénation du rumen.

L'importance de la biohydrogénation du LA est plus faible avec les rations riches en concentrés, l'effet étant attribué au plus faible pH ruminal (Kalscheur *et al.*, 1997; Troegeler-Meynadier *et al.*, 2003) ou à une teneur élevée en amidon (Loor *et al.*, 2004). Cependant, il existe une forte variabilité inter-essais de l'importance de la biohydrogénation (Doreau et Ferlay, 1994), pas totalement expliquée par la proportion de concentré (Sauvant et Bas, 2001).

De nombreux processus technologiques ont été testés dans le but de diminuer la biohydrogénation ruminale des AG insaturés. Les traitements thermiques de graines oléagineuses ont un effet le plus souvent faible. La présentation d'AG sous forme de savons calciques les protège peu (Wu *et al.*, 1991) ou pas (Ferlay *et al.*, 1992 ; Ferlay *et al.*, 1993 ; Harvatine et Allen, 2006) contre la biohydrogénation. De même, elle ne protège les CLA de synthèse que partiellement de la biohydrogénation (DeVeth *et al.*, 2005).

Le seul traitement conduisant à une bonne protection des AG insaturés est l'enrobage par des protéines traitées par du formol (Clapperton, 1978), mais ce procédé technologique d'enrobage, relativement coûteux, n'a pas aujourd'hui d'application commerciale pour des AG de graines oléagineuses en France. Le traitement par du formol permet aussi une bonne protection contre la biohydrogénation d'un mélange enrobé d'isomères du CLA obtenus par synthèse (Gulati *et al.*, 2000).

## Tableaux 7 : Digestion ruminale des AG

**Tableau 7 A : Digestion ruminale des AG : comparaison entre les flux entrant (ingéré) et sortant (duodéнал) d'AG.**

Référence	1			2			3			4			5		
Animaux	VL*			VL			T			T			B		
Fourrages	Ensilages maïs et luzerne			Ensilage ray-grass + trèfle blanc			Foin			Foin			Foin		
F/C**	60/40			65/35			14/86			12-36/88-64			60/40		
MG ajoutée***							Maïs riche huile			Huile tournesol 4 %			Huile soja 4,3 %		
Flux, g/j et BH****	Ingéré	Duodéнал	BH*	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH
18:0	27	439			240		15	319		10	148		1,8	48,0	
18:1 9c	145	84	42		24		154	36	77	76	14	81	11,5	3,5	70
LA	379	86	77	123	16	87	254	42	83	172	12	93	24,5	1,4	94
ALA	83	11	87	158	8	95	34	1,9	94	25	1,5	94	5,1	0,3	94
18:1t		61			20			16			66			5,5	
18:2t		1,1			1,8			0,6			0,6			0,2	
18 totaux	634	682		408			457	430		283	230				
AG totaux	789	916											52,8	75,4	

\*VL = Vache laitière ; T = Taurillon ; B = Brebis

\*\* F/C : Pourcentages de Fourrage/Concentrés

\*\*\* Source spécifique de matière grasse

\*\*\*\* BH : pourcentage de biohydrogénation calculé avec la formule  $(1 - \text{flux duodéнал} / \text{ingéré}) \times 100$

Références et AG dosés :

1. Kalscheur et al., 1997 ; Piperova et al., 2002 - nombreux isomères 18:1t et 18:2t
2. Dewhurst et al., 2003 a et b - 18:1 11t et c18:2 9c,11t
3. Duckett et al., 2002 - 18:1 9t à 12t et nombreux isomères 18:2t
4. Sackmann et al., 2003 - 18:1:1 9t à 12t et nombreux isomères 18:2t
5. Kucuk et al., 2001 - 18:1 11t 18:2 9c,11t et 18:2 10t,12c

**Tableau 7 B : Digestion ruminale des AG : comparaison entre les flux entrant (ingéré) et sortant (duodéнал) d'AG.**

Référence	6			6			6			6			7			7			7		
Animaux	VL*			VL			VL			VL			VL			VL			VL		
Fourrages	Foin			Foin			Foin			Foin			Foin			Foin					
F/C**	65/35			35/65			65/35			35/65			35/65			35/65			35/65		
MG ajoutée***							Huile lin 3 %			Huile lin 3 %			Huile lin 5 %			Huile tournesol 5 %			Huile poisson 2,5 %		
Flux, g/j et BH****	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH	Ingéré	Duodéнал	BH
18:0	8	196		8	202		31	455		33	314		37	398		37	346		19	96	
18:1 9c	56	24	57	115	47	59	139	22	84	214	55	74	209	34	84	191	36	81	76	27	64
LA	97	22	77	142	36	75	181	20	89	239	43	82	240	38	84	676	52	92	112	28	75
ALA	82	9	89	55	9	84	445	13	97	443	30	93	479	24	95	64	11	83	60	9	85
18:1t		37			81			145			304			287			262			213	
18:2t		6			9			18			83			68			39			30	
18 totaux	243	294		320	384		796	673		929	829		982	897		983	756		290	423	
AG totaux	316	427		395	522		898	841		1038	1053		1101	1066		1109	967		684	667	

\*VL = Vache laitière

\*\* F/C : Pourcentages de Fourrage/Concentrés

\*\*\* Source spécifique de matière grasse

\*\*\*\* BH : pourcentage de biohydrogénation, calculé avec la formule  $(1 - \text{flux duodéнал} / \text{ingéré}) \times 100$

Références et AG dosés :

6. Loor et al., 2004 - nombreux isomères 18:1 t et 18:2 t

7. Loor et al., 2005 c - nombreux isomères 18:1 t et 18:2 t

### Importance qualitative et facteurs de variation

Des AG intermédiaires de la biohydrogénation peuvent quitter le rumen avant réduction complète ; ces intermédiaires peuvent alors être absorbés dans l'intestin grêle. Les tableaux 7 A et B montrent que ce flux d'AG *trans* sortant est très variable mais souvent supérieur au flux d'AG insaturés *cis* et comprend principalement des AGMI.

De nombreux facteurs peuvent faire varier le profil des AG quittant le rumen :

- les rations riches en amidon et/ou entraînant un abaissement intense du pH ruminal conduisent à une forte production d'isomères *10t*, alors que les rations pauvres en concentrés conduisent à une forte production d'isomères *11t* dans le rumen (Loor *et al.*, 2004 et 2005 c) et dans le lait (Griinari *et al.*, 1998 ; Loor *et al.*, 2005 a). Le profil des AG du lait suggère que les rations à base d'ensilage de maïs peuvent conduire, même avec un apport limité de concentrés, à une domination de la voie *10t* sur la voie *11t* (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Shingfield *et al.*, 2005 a). Durant les premiers jours qui suivent l'introduction des suppléments lipidiques, on observe un développement rapide de la voie *11t* mais avec des rations riches en amidon (concentrés ou ensilage de maïs) la voie *10t* devient ensuite prédominante (Roy *et al.*, 2006),

-un apport important de LA ou ALA limite la réduction de 18:1 *trans* en 18:0, se traduisant par une augmentation de la proportion de 18:1 *trans* dans le contenu ruminal (Harfoot *et al.*, 1973 ; Troegeler-Meynadier *et al.*, 2003). Les AG des huiles de poisson inhibent aussi, mais beaucoup plus fortement, cette ultime réduction ce qui entraîne une très forte augmentation de la quantité de 18:1 *trans* disponible pour l'absorption (Chilliard *et al.*, 2001 a ; Shingfield *et al.*, 2003 ; Loor *et al.*, 2005 c et 2005 d).

#### **2.1.1.3. Synthèse de lipides dans le rumen**

Les microorganismes du rumen sont capables de synthétiser des AG. Cette synthèse conduit, entre autres, à l'apparition d'AG à nombre impair d'atomes de carbone, linéaires ou ramifiés. Avec les rations riches en fourrages et pauvres en matières grasses, la teneur en AG des bactéries est faible mais la proportion de ces AG particuliers est plus élevée (Bas *et al.*, 2003).

Une disparition d'AG entre la ration ingérée et l'entrée du duodénum est également possible mais bien que l'hypothèse d'une absorption ou d'une dégradation ait été évoquée (Doreau et Chilliard, 1997 a), cette disparition reste inexpiquée. Elle est supérieure à la synthèse lorsque la ration est riche en matières grasses, situation où les bactéries du rumen accumulent des lipides (Sauvant et Bas, 2001). Le bilan quantitatif de la digestion ruminale est donc positif avec des rations pauvres en lipides et négatif avec des rations riches, le point d'équilibre étant en moyenne observé pour des rations à 4,7 ou 5 % d'AG par rapport à la matière sèche ingérée (Doreau et Chilliard, 1997 a ; Sauvant et Bas, 2001 ; Schmidely *et al.*, 2008).

#### **2.1.1.4. Effet des lipides sur les microorganismes du rumen**

La présence d'AG insaturés dans la ration diminue l'efficacité de la digestion du reste de la ration, en particulier des fourrages. Ceci peut constituer une limite à l'addition de matières grasses à la ration des ruminants. Toutefois, cet effet inhibiteur est surtout observé chez les ovins et il est moins net voire absent chez la vache laitière recevant de l'huile de lin (Ueda *et al.*, 2003) ou de poissons (Doreau et Chilliard, 1997 b). Par ailleurs, il peut être limité en partie par l'enrobage des matières grasses ou leur présentation sous forme de savons de calcium.

### 2.1.2. Digestion intestinale et absorption

La digestion des AG sortant du rumen a lieu au niveau de l'intestin grêle. La digestibilité est en moyenne comprise entre 70 et 75 % (Doreau et Ferlay, 1994 ; Sauvant et Bas, 2001 ; Schmidely *et al.*, 2008) mais les variations peuvent être importantes, les valeurs rapportées dans la littérature allant de 50 à plus de 90 % (Enjalbert, 1995 ; Doreau et Chilliard, 1997 a ; Looor *et al.*, 2004 et 2005 c) sans que les facteurs de variation ne soient clairement identifiés. La digestibilité des AG n'est pas diminuée lorsque le flux entrant dans l'intestin augmente jusqu'à 1,5 kg par jour au moins chez la vache laitière (Chilliard *et al.*, 1991 a) ce qui est supérieur aux apports réalisés en pratique (Tableaux 7 A et B).

La muqueuse intestinale possède une faible activité de désaturation qui convertit moins de 10 % du 18:0 en 18:1 n-9 (Bickerstaffe *et al.*, 1972), et aucune transformation de 18:1 11t en 18:2 9c, 11t n'a été mise en évidence (Mosley *et al.*, 2006).

### 2.1.3. Métabolisme hépatique et transport

En dehors des triglycérides alimentaires apparaissant seulement en phase postprandiale sous forme de chylomicrons (Bauchart et Levieux, 1985), les lipides sont transportés dans le sang, chez le jeune nourri au lait (veau de boucherie) comme chez le ruminant adulte, très majoritairement sous forme de lipoprotéines de haute densité (HDL, >80 % des lipoprotéines totales) (Bauchart, 1993 ; Scislowski *et al.*, 2004 a). Synthétisées à la fois par le foie et l'intestin, elles se chargent progressivement en cholestérol sous forme estérifiée (esters de cholestérol) par transfert de cholestérol à partir de VLDL ou des membranes cellulaires formant ainsi des HDL lourdes (heavy HDL) puis légères (light HDL) et enfin très légères (very light HDL) (Leplaix-Charlat *et al.*, 1996 ; Scislowski *et al.*, 2004 a). Le cholestérol est ainsi transporté par les HDL des tissus périphériques vers le foie selon un processus connu de "cholesterol reverse transport". Les lipoprotéines de très basse densité (VLDL ou Very Low Density Lipoproteins) et basse densité (LDL ou Low Density Lipoproteins) représentent respectivement 5-10 % et 10-15 % des lipoprotéines totales chez le veau de boucherie comme chez le ruminant adulte (Scislowski *et al.*, 2004 a). Elles sont respectivement impliquées dans le transport sanguin des triglycérides et du cholestérol d'origine endogène et leur capture par le foie et les tissus périphériques. La distribution ainsi que la composition chimique des lipoprotéines, notamment les HDL sont modulées par les conditions d'alimentation, notamment par le niveau d'apport en AGPI et en cholestérol alimentaire (Leplaix-Charlat *et al.*, 1996 ; Scislowski *et al.*, 2004 b).

### 2.1.4. Métabolisme des tissus adipeux

Chez le ruminant, la lipogenèse *de novo* a lieu essentiellement, dans les tissus mammaire (cf. 2.1.5) et adipeux. Dans les tissus adipeux, la principale source de carbone pour la synthèse d'AG est l'acétate d'origine ruminale, à l'exception du tissu intramusculaire où le glucose joue un plus grand rôle (Smith et Crouse, 1984).

La quantité d'AG libérée du tissu adipeux en début de lactation peut dépasser 2 kg par jour, la capacité de mobilisation étant positivement liée au potentiel de production et à l'état d'engraissement des vaches avant mise-bas (Chilliard, 1999). Ces AG sont en partie prélevés par la mamelle, entraînant une augmentation du taux butyreux (TB) du lait et une modification du profil des AG du lait : augmentation des acides oléique et stéarique, au détriment principalement des AG de C 10 à C 14 (Chilliard *et al.*, 2003). En outre, de par cet apport endogène d'AG à la mamelle, le profil des AG du lait est moins dépendant de la ration en début qu'en milieu et fin de lactation.

## 2.1.5. Métabolisme mammaire

### 2.1.5.1. Prélèvement d'AG circulants

La glande mammaire prélève des AG dans le sang artériel, principalement parmi les AG non estérifiés et les triglycérides. Dans la mesure où la concentration artérielle en AG à moins de 16 carbones est très faible, ce prélèvement concerne principalement des AG à C 16 et C 18. Ce prélèvement a une efficacité comprise entre 25 et 75 % selon l'AG et la concentration artérielle (Thompson et Christie, 1991 ; Enjalbert *et al.*, 1998) et il augmente linéairement puis quadratiquement lorsque la triglycéridémie augmente après une supplémentation lipidique (Gagliostro *et al.*, 1991).

### 2.1.5.2. Synthèse d'AG

La glande mammaire des ruminants synthétise des AG de C 4 à C 16, principalement à partir d'acétate et de  $\beta$ -hydroxybutyrate provenant de la fermentation ruminale des glucides. Lorsque le prélèvement mammaire d'AG à C 16 et C 18 s'accroît du fait d'une supplémentation lipidique ou d'une mobilisation du tissu adipeux, on observe une diminution de synthèse d'AG exprimée en g/kg de lait (Steele et Moore, 1968 ; Storry *et al.*, 1974). En effet, le nombre d'AG synthétisés n'est pas affecté mais la longueur de chaîne des AG synthétisés diminue (Enjalbert *et al.*, 1998). Cette diminution étant compensée par le prélèvement accru d'AG longs, la quantité de matière grasse secrétée ne diminue pas (Chilliard *et al.*, 1991 b).

La synthèse mammaire des AG est inhibée par le 18:2 10*t*, 12*c* (Baumgard *et al.*, 2000), en interaction probable avec d'autres AG de structure *trans* (Loor *et al.*, 2005 a ; Chilliard *et al.*, 2007 ; Roy *et al.*, 2006) mais le 18:1 10*t* n'a pas d'effet inhibiteur (Lock *et al.*, 2007), même si de fortes chutes du TB (Jurjanz *et al.*, 2004) ont pu être observées dans des laits contenant de fortes proportions de 18:1 10*t* (toutefois sans indication de l'isomère 18:2 10*t*,12*c*). Cette inhibition a des applications pratiques, la distribution aux animaux de mélanges de CLA de synthèse contenant du 18:2 10*t*,12*c* partiellement protégé de la digestion ruminale permettant de diminuer fortement le TB du lait chez la vache laitière (Griinari et Bauman, 2006).

### 2.1.5.3. Désaturation des AG

La glande mammaire est capable de désaturer des AGS synthétisés par la mamelle ou prélevés dans le sang artériel grâce à une  $\Delta 9$ -désaturase (Annison *et al.*, 1967). Cette désaturation est d'importance limitée sur 14:0 et 16:0. Elle concerne environ 50 % du 18:0 prélevé dans le courant sanguin alors converti en 18:1 9*c* (Enjalbert *et al.*, 1998).

Elle concerne aussi le 18:1 11*t* d'origine ruminale prélevé au niveau sanguin qui est converti en 18:2 9*c*,11*t* avec une efficacité comprise entre 8 et 39 % (Palmquist *et al.*, 2005). Cette désaturation mammaire représente la principale source de CLA du lait (80 à 95 % d'après Loor *et al.*, 2005 b), loin devant le prélèvement artériel de CLA d'origine ruminale, si bien qu'il existe une liaison très forte entre les teneurs en 18:1 11*t* et 18:2 9*c*,11*t* dans le lait (Chilliard *et al.*, 2003). La désaturation est inhibée lorsque la mamelle peut prélever dans le sang des quantités importantes de 18:1 10*t*,12*c* (Peterson *et al.*, 2002).

## 2.1.6. Conclusion

Les particularités de l'utilisation digestive et métabolique des matières grasses chez le ruminant sont dominées par la biohydrogénation ruminale qui sature partiellement (notamment formation de CLA et d'AGMI) ou totalement (AGS) la majorité des AG insaturés de la ration et représente donc le facteur limitant de leur transfert vers les productions. Outre la biohydrogénation, une isomérisation produit des intermédiaires *trans*, principalement 11*t*, 10*t* et dans une moindre mesure 13*t* et 15*t*, l'équilibre entre ces familles dépendant en partie

de l'équilibre fibres-amidon-lipides de la ration. Enfin, la mamelle peut désaturer une partie des AGS qu'elle synthétise ou prélève dans le sang, compensant ainsi en partie les effets de la biohydrogénation ruminale mais sans permettre la reconstitution du LA ou de l'ALA.

## **2.2. Préruminants**

On désigne par veau préruminant (ou encore par veau de boucherie) un jeune bovin qui reçoit de la naissance jusqu'à l'abattage (au poids vif moyen de 200 kg environ), exclusivement un aliment liquide constitué soit de lait entier de vache, soit d'un aliment d'allaitement (ou lait de remplacement, employé par plus de 90 % de la production).

L'aliment d'allaitement est composé classiquement de poudre de lait écrémée puis ré-engraissée avec des matières grasses d'origine animale (suif, saindoux) ou végétale (mélange d'huiles incluant les huiles de palme, de coprah ou de soja) ou mixte animal/végétal (ex. : mélange 2/3 suif - 1/3 huile de coprah). Ces aliments d'allaitement sont très riches en matières grasses (18 à 22 % de la matière sèche) finement émulsionnées, lesquelles représentent 30 à 45 % de l'énergie totale ingérée. Les protéines, longtemps apportées par la poudre de lait écrémé et/ou de lactosérum sont pour des raisons de coût et de moindre disponibilité sur le marché, remplacées de plus en plus par des protéines d'origine végétale (gluten de blé...).

Ces aliments sont pauvres en fer ce qui explique la couleur généralement très claire de la viande de veau. Elle s'oppose à celle très rouge de la viande du bovin ruminant lequel reçoit une ration à base d'aliments solides riches en fer et dont les composés cellulosiques favorisent le développement du rumen et de sa microflore.

### **2.2.1. Digestion et transport sanguin des lipides chez le veau préruminant**

#### **2.2.1.1. Digestion et transport sanguin des AG alimentaires**

La distribution de l'aliment liquide (lait de vache, aliment d'allaitement) au veau préruminant induit le réflexe de fermeture de la gouttière œsophagienne, dirigeant l'aliment directement dans la caillette (équivalent à l'estomac du monogastrique). Ceci inhibe tout développement et activité fermentaire du rumen et donc ne provoque pas de modification de la composition des AG alimentaires. On peut donc considérer le veau préruminant comme un animal présentant une physiologie digestive de type monogastrique. Au niveau de la caillette, les aliments d'allaitement contenant des caséines (type *K*) du lait de vache coagulent sous l'action de la chymosine stomacale entraînant la rétention pendant plusieurs heures des matières grasses sous la forme d'un caillot insoluble. Ceci permet l'induction d'une lipolyse partielle sous l'action de la lipase salivaire, entraînant principalement la libération d'AG à chaîne moyenne et de 1,2 diglycérides. Cependant, la lipolyse des matières grasses du lait est assurée pour l'essentiel, à partir de l'âge de 1 mois, dans le duodénum et le jéjunum proximal par le système lipase /colipase pancréatique selon les modalités décrites dans le chapitre « Monogastriques ».

La digestibilité des matières grasses lactées est très élevée, de l'ordre de 86 % chez le veau âgé de 3 semaines (Bauchart *et al.*, 1985) et généralement supérieure à 90 % chez le veau âgé de 6 semaines et plus (Bauchart *et al.*, 1985 ; Bauchart et Arousseau, 1993). Elle s'élève, en moyenne respectivement à 91,8, 95,4 98,5 % pour les AGS, AGMI et AGPI (Jenkins *et al.*, 1986).

#### **2.2.1.2. Les lipoprotéines : structure, synthèse/sécrétion**

Le jeune veau nourri au lait possède les mêmes familles de lipoprotéines que celles du bovin ruminant (cf. paragraphe 2.1.1) mais son plasma s'enrichit en chylomicrons porteurs des AG alimentaires sous forme de triglycérides en phase postprandiale (Bauchart et Levieux, 1985). Ces lipoparticules d'origine intestinale et sécrétées initialement dans le

système lymphatique (Laplaud *et al.*, 1990) sont rapidement dégradées sous l'action de la lipoprotéine lipase des tissus périphériques et leurs AG ainsi libérés sont captés et intégrés dans les lipides des cellules adipeuses ou musculaires mais également par le foie (Bauchart *et al.*, 1996).

# C Produits

---

## 1. Le lait et les produits laitiers

### 1.1. Vache laitière

#### 1.1.1. Considérations générales, composition moyenne du lait et variations saisonnières

##### 1.1.1.1. Considérations générales

L'importance quantitative de la consommation de matières grasses laitières bovines, environ 28 g/j pour le consommateur français selon Volatier (2000), et leurs teneurs élevées en AGS en font le principal vecteur de la consommation de ces AG. Il est donc important de connaître les facteurs de variation de la teneur en matières grasses du lait (taux butyreux, TB), de la composition en AG des matières grasses laitières et sa plasticité éventuelle. Celle-ci dépend de facteurs intrinsèques (génotype, stade de lactation,...) ou extrinsèques (conditions environnementales au sens large).

Les effets liés à la race ou au génotype sont significatifs mais d'ampleur limitée et ne peuvent être obtenus qu'à moyen terme ou en interaction avec les contraintes inhérentes aux autres critères à sélectionner. L'effet du stade de lactation est marqué, lié principalement à la mobilisation des réserves lipidiques en début de lactation mais celle-ci ne dure que quelques semaines par an et par vache, notamment chez les vaches plus fortes productrices (Chilliard, 1999). Cet effet est donc largement atténué dans les laits de mélange (troupeau, tournée de collecte) surtout lorsque les vèlages ne sont pas groupés au sein d'une même zone de collecte.

Bien que les fluctuations saisonnières soient quantitativement importantes, elles ne sont que très faiblement dues aux effets de la température ou de la photopériode et ce sont les modifications de l'alimentation des vaches qui déterminent l'essentiel de ces fluctuations. Les effets de la technologie beurrière ou fromagère sur la composition en AG des produits laitiers sont minimes par rapport à ceux de l'alimentation des vaches (Ferlay *et al.*, 2002 a ; Lucas *et al.*, 2006 b) et ne seront donc pas examinés dans le cadre du présent travail.

##### 1.1.1.2. Principales classes de lipides

Dans le lait de vache, les lipides sont constitués de 96 % à 98 % de triglycérides, de 1 à 2 % de mono- et diglycérides, de 1 % de phospholipides, de 0,1 à 0,4 % d'AG libres et de 0,4 % à 0,5 % de cholestérol libre (Jensen, 2002).

##### 1.1.1.3. Profil moyen en AG du lait

Indépendamment des conditions d'alimentation ou de races, les données moyennes de composition en AG du lait de vache sont présentées dans les tableaux 8 et 9. Le tableau 8 présente les valeurs moyennes (associées à leurs variations) pour les différents AG calculées à partir d'une base de données (Glasser *et al.*, 2008 a et b) issue de 79 publications et représentant 121 lots de vaches ayant reçu des rations à faible taux de lipides (moins de 3,5 % de lipides totaux ou moins de 3 % d'AG totaux), contenant au maximum 60 % d'aliments concentrés (de 17 à 60 %) et ne comprenant pas d'herbe verte (pâturage), ni de produits marins (farine ou huile de poisson, algues). Ces données expérimentales concernent donc des régimes de type hivernal, à base de fourrages conservés (56 %) et de concentrés (44 %). Ces valeurs moyennes ont été comparées aux données moyennes de 54 beurres français (Ledoux *et al.*, 2003 ; tableau 9) prélevés durant une année et représentatifs de laits de grand mélange provenant de l'ensemble des systèmes et saisons de production. En effet, il n'y a pas de différence entre les profils d'AG du beurre ou des fromages, et du lait correspondant (Ferlay *et al.*, 2002 a ; Lucas *et al.*, 2006b).

Comme l'indiquent les résultats des tableaux 8 et 9, les valeurs issues de la base de données (Glasser *et al.*, 2008 a et b) et celles issues des beurres d'hiver (Ledoux *et al.*, 2003) sont généralement proches. Les données issues de la base ont été utilisées pour décrire dans la suite de ce travail, les laits produits à partir de fourrages conservés, dans la mesure où les conditions d'élevage et d'alimentation y sont précisées et où ces données serviront ensuite pour décrire l'effet des facteurs de variation alimentaires. Les variations saisonnières de composition des beurres sont ensuite discutées.

**Tableau 8 : Composition moyenne en AG du lait de vache (données obtenues en conditions expérimentales avec des rations à base de fourrages conservés) (121 lots de vaches, 79 publications, Glasser *et al.*, 2008 a et b).**

Variable	Nombre de lots	Moyenne	Ecart-type
Fourrage (% MS ingérée)	121	56,13	11,53
Production laitière (kg/l)	114	28,80	6,92
Taux butyreux (g/100g)	120	3,70	0,53
Taux protéique (g/100g)	112	3,19	0,25
<b>AG du lait (% AG totaux)</b>			
4:0	87	3,53	1,18
6:0	104	2,42	0,69
8:0	106	1,50	0,45
10:0	112	3,44	0,86
10:1	6	0,26	0,17
11:0	9	0,18	0,20
12:0	113	4,15	0,77
12:1	4	0,13	0,05
13:0	12	0,16	0,10
14:0	120	12,32	1,41
14:1	88	1,44	0,52
iso 14:0	6	0,25	0,32
15:0	79	1,36	0,37
15:1	7	0,29	0,13
antéiso 15:0	13	0,51	0,11
iso-15:0	12	0,25	0,05
16:0	121	31,74	3,60
16:1 total	103	2,02	0,92
<i>cis</i> 16:1	15	1,52	0,67
16:1 9c	9	1,40	0,51
<i>trans</i> 16:1	10	0,44	0,51
iso 16:0	7	0,28	0,10
17:0	71	0,66	0,16

Variable	Nombre de lots	Moyenne	Ecart-type
<b>AG du lait (% AG totaux)</b>			
17:1	19	0,29	0,12
antéiso 17:0	11	0,49	0,13
iso 17:0	9	0,30	0,09
18:0	121	9,69	2,07
18:1 total	121	21,44	3,21
<i>cis</i> 18:1	67	19,44	3,23
18:1 6 <i>c</i>	9	0,46	0,14
18:1 9 <i>c</i>	33	18,67	3,51
18:1 11 <i>c</i>	25	0,57	0,35
18:1 12 <i>c</i>	7	0,29	0,19
18:1 13 <i>c</i>	5	0,07	0,01
<i>trans</i> 18:1	67	1,76	0,76
18:1 4 <i>t</i>	4	0,02	0,01
18:1 5 <i>t</i>	4	0,01	0,00
18:1 6 <i>t</i>	9	0,18	0,05
18:1 6+7+8 <i>t</i>	8	0,18	0,08
18:1 9 <i>t</i>	18	0,20	0,05
18:1 10 <i>t</i>	7	0,34	0,12
18:1 11 <i>t</i>	36	1,37	0,69
18:1 12 <i>t</i>	7	0,27	0,08
18:1 13 <i>t</i> +14 <i>t</i>	6	0,49	0,16
18:1 16 <i>t</i>	4	0,25	0,14
18:2 total (dont CLA)	121	2,59	0,91
LA	55	2,24	0,76
18:2 9 <i>t</i> ,12 <i>t</i>	14	0,14	0,12
18:2 9 <i>c</i> ,13 <i>t</i>	4	0,17	0,08
18:2 11 <i>t</i> ,15 <i>c</i>	4	0,17	0,11
CLA total	49	0,53	0,19
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	38	0,47	0,14
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	20	0,02	0,01
18:2 11 <i>t</i> ,13 <i>t</i>	8	0,06	0,05
18:2 9 <i>t</i> ,11 <i>t</i>	4	0,02	0,01
18:3 total	108	0,54	0,25
18:3 6 <i>c</i> ,9 <i>c</i> ,12 <i>c</i> (n-6)	14	0,13	0,11
ALA	31	0,49	0,18
19:0	4	0,28	0,21

Variable	Nombre de lots	Moyenne	Ecart-type
20:0	33	0,22	0,18
20:1	22	0,16	0,12
20:2	9	0,07	0,06
C20:3 (n-3)	15	0,12	0,06
ARA	21	0,14	0,05
EPA	20	0,05	0,02
21:0	5	0,04	0,01
22:0	9	0,06	0,06
22:1	11	0,07	0,07
22:4	5	0,02	0,02
DPA	23	0,09	0,04
DHA	17	0,02	0,02
23:0	5	0,06	0,05
24:0	4	0,04	0,01
AGS (4:0 à 24:0)	87	70,1	4,2
dont 12:0+14:0+16:0+18:0	113	58,0	4,4
dont 12:0+14:0+16:0	113	48,31	-
AG trans totaux	42	2,42	1,00
dont 18:1 9t+10t+11t	17	1,30	0,45

**Tableau 9 : Composition moyenne en AG de 54 beurres français<sup>1</sup>, et variations en hiver et en été (g d'AG/100 g beurre) (calculé d'après Ledoux et al., 2003).**

AG du beurre (% AG totaux)	Année (n=54)	Hiver (n=18)		Eté (n=18)	
	Moyenne	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
4:0	4,06	4,21	0,65	4,06	0,50
6:0	2,83	2,95	0,44	2,77	0,36
8:0	1,75	1,82	0,25	1,69	0,22
10:0	3,92	4,08	0,44	3,72	0,43
10:1	0,38	0,39	0,05	0,37	0,05
11:0	0,07	0,08	0,01	0,06	0,01
12:0	4,38	4,55	0,31	4,11	0,35
antéiso 13:0	0,06	0,06	0,03	0,04	0,04
iso 13:0	0,04	0,04	0,01	0,05	0,01
13:0	0,13	0,14	0,01	0,12	0,01
iso 14:0	0,15	0,15	0,03	0,15	0,03
14:0	12,83	13,11	0,78	12,36	0,45
antéiso 15:0+14:1	1,36	1,34	0,11	1,40	0,09
iso 15:0	0,57	0,52	0,06	0,64	0,05

AG du beurre (% AG totaux)	Année (n=54)	Hiver (n=18)		Été (n=18)	
	Moyenne	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
15:0	1,23	1,21	0,14	1,26	0,07
15:1	0,05	0,04	0,01	0,05	0,01
iso 16:0	0,28	0,29	0,03	0,28	0,03
16:0	30,97	32,96	2,47	28,59	2,63
16:1	1,46	1,51	0,13	1,43	0,15
antéiso 17:0	0,35	0,31	0,03	0,40	0,04
iso 17:0	0,42	0,41	0,04	0,44	0,03
17:0	0,54	0,53	0,06	0,56	0,05
17:1	0,21	0,21	0,02	0,23	0,01
18:0	8,77	8,05	0,58	9,60	0,82
<i>trans</i> 18:1*	2,67	2,16	0,22	3,21	0,54
18:1 9c	16,17	15,09	0,73	17,65	1,08
18:1 12c	0,73	0,70	0,04	0,76	0,12
18:2 9t,12t	0,19	0,16	0,02	0,21	0,02
18:2 9c,12t	0,18	0,16	0,03	0,19	0,01
18:2 9t,12c (+11t,15c)	0,20	0,14	0,04	0,27	0,07
LA	1,31	1,33	0,10	1,25	0,16
20:0	0,14	0,13	0,02	0,15	0,01
18:3 (n=6)	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00
20:1 11c	0,08	0,06	0,03	0,08	0,04
ALA	0,44	0,33	0,10	0,55	0,11
18:2 9c,11t	0,80	0,50	0,07	0,95	0,21
<i>c,c</i> -CLA	0,03	0,03	0,01	0,04	0,01
<i>t,t</i> -CLA	0,04	0,04	0,00	0,04	0,01
22:0	0,05	0,05	0,01	0,06	0,01
20:3	0,06	0,06	0,01	0,06	0,01
24:0	0,05	0,04	0,01	0,05	0,02
EPA	0,04	0,04	0,01	0,05	0,01
AGS (4:0 à C24:0)	73,6	75,7	-	71,2	-
dont 12:0+14:0+16:0+18:0	56,9	58,7	-	54,7	-
dont 12:0+14:0+16:0	48,13	50,65	-	45,1	-
AG <i>trans</i> totaux	4,07	3,17	-	4,87	-

<sup>1</sup> Prélèvements dans 18 coopératives laitières de 7 régions françaises, en hiver et en été.

\* 18:1  $\Delta$ 4t -  $\Delta$ 12t.

### 1.1.1.3.1. Laits produits à partir de fourrages conservés

La somme des AGS pairs (4:0 à 22:0), des AGS impairs et ramifiés, des AGMI et des AGPI ( $\geq 18$  C) représente respectivement environ 69 %, 5 %, 26 % et 4 % des AG totaux. Les isomères *trans* 18:1 et 18:2 représentent moins de 3 % des AG totaux (tableau 8).

#### Profil en AGS

D'après la base de données, les AGS totaux, les AGS pairs à chaîne courte (4:0 à 8:0) et ceux à chaîne moyenne (10:0 à 14:0) représentent approximativement 70 %, 7 % et 20 % des AG totaux, respectivement. Les proportions des acides palmitique et stéarique sont, respectivement, de 32 % et 10 % des AG totaux alors que celles des AGS pairs longs ( $\geq 20$  C) sont très faibles (moins de 0,5 % des AG totaux).

Les AGS impairs ou ramifiés représentent 4,8 % des AG totaux. Ce sont principalement, par ordre décroissant le 15:0, le 17:0 puis leurs isomères antéiso. Les AG ramifiés représentent 2,1 % des AG totaux, en accord avec la valeur de 1,9 % rapportée (Vlaeminck *et al.*, 2006) sur une centaine de lots de vaches (26 publications).

#### Profil en AGMI

Les proportions des AGMI de configuration *cis* et du 18:1 9c représentent respectivement 89 % et 73 % des AGMI totaux. Les autres AGMI *cis* sont présents en quantité significative (environ 1,4 % pour le 16:1 9c et autant pour le 14:1 9c, ce qui est à relier à la richesse du lait de vache en 14:0. Les isomères *cis* du 18:1 (positions principalement en  $\Delta 6$  et  $\Delta 11$  à  $\Delta 13$ ) peuvent représenter jusqu'à 1,5 % des AG totaux.

Les AGMI de configuration *trans* à 14 ou 16 C sont peu représentés quantitativement. La proportion du second dans la base de données est de 0,4 % des AG totaux. Toutefois, cette valeur est une surestimation due à la co-élution de l'iso-17:0 lors des analyses en CPG simple (Destailats *et al.*, 2000). Ces auteurs rapportent en effet, des proportions de 0,17 % des AG totaux pour les *trans* 16:1 totaux sur 12 fromages français et de 0,13 % (de 0,05 à 0,25 %) sur 27 laits allemands dont l'isomère principal est le 16:1 9t qui représente 32 % des *trans*-16:1 puis le 16:1 3t (15 %), les autres isomères s'étendant de la position  $\Delta 4$  à  $\Delta 14$ .

Les AGMI *trans* sont essentiellement représentés par les AG à 18 C qui constituent dans la base de données environ 2 % des AG totaux. Cette valeur est probablement légèrement sous-estimée du fait que les pics de certains isomères mineurs *trans* 18:1 co-éluent avec le 18:1 9c (Precht *et al.*, 2001). En effet, les données du tableau 10 sont de 2,65 % des AG totaux pour 927 laits d'hiver. Après l'isomère 18:1 11t majoritaire (environ 1,4 % des AG totaux), les isomères 18:1 13t + 14t et 18:1 10t peuvent représenter chacun jusqu'à 0,5 % des AG totaux (tableau 8).

**Tableau 10 : Teneurs en AG *trans* dans 1756 beurres allemands (Precht et Molkentin, 2000).**

AG (% AG totaux)	Année (n=1756)		Hiver (n=927)		Été (n=593)	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
<i>trans</i> -18:1	3,62	1,22	2,65	0,44	5,08	0,65
(dont 18:1 11 <i>t</i> )	(1,72)	(0,98)	(0,93)	(0,30)	(2,87)	(0,55)
<i>trans</i> -18:2 non conjugués	1,11	0,29	0,89	0,15	1,44	0,15
(dont 18:2 11 <i>t</i> ,15 <i>c</i> )	(0,30)	(0,14)	(0,19)	(0,05)	(0,46)	(0,08)
total <i>trans</i> non conjugués	4,86	1,51	3,65	0,57	6,66	0,78
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,75	0,38	0,45	0,13	1,20	0,20

Le profil exact des isomères des 18:1 *trans* totaux ne peut pas être obtenu à partir de la base de données en raison d'une part du nombre très variable de déterminations disponibles pour chaque isomère, et d'autre part, des méthodes de dosage qui ne séparent et n'identifient généralement qu'une partie de ceux-ci (Jensen, 2002 ; Shingfield *et al.*, 2008). On peut toutefois se référer à une étude sur un beurre d'hiver allemand (Precht *et al.*, 1999) qui contenait 2,8 % (AG totaux) de 18:1 *trans* : l'isomère 11*t* en représentait 39 %, suivi par les isomères 15*t*, 12*t*, 10*t*, 13/14*t*, 6/7/8*t*, 16*t* et 9*t* (13 à 6 %) et des traces de 4*t* et 5*t*; et à une autre sur 12 fromages français (Precht *et al.*, 2001) contenant 4,5 % des AG totaux en *trans*18:1 dont 51 % de 11*t*, puis les isomères 16*t*, 14*t*, 13/14*t*, 10*t*, 15*t*, 9*t* et 6/7/8*t* (8 à 2 %) et des traces de 4*t* et 5*t*.

#### Profil en AGPI-18C, en CLA, et en AGPI-LC

##### AGPI octadécadiénoïques

Les AG 18:2 non conjugués sont essentiellement représentés par le LA dont la teneur moyenne est de 2,2 % des AG totaux (tableau 8). Des isomères *trans* non conjugués sont également rapportés : principalement les 18:2 9*t*,12*t*, 9*c*,13*t*, 11*t*,15*c* (représentant chacun de 0,1 % à 0,2 % des AG totaux).

L'isomère quantitativement le plus important des acides octadécadiénoïques conjugués est le 18:2 9*c*,11*t* (0,5 % des AG totaux soit environ 85 % du CLA total ; tableau 8). Cependant, ces valeurs obtenues en CPG sont probablement légèrement surestimées du fait de 3 pics mineurs co-éluant avec cet isomère. Le second isomère identifié est le 7*t*,9*c* qui peut représenter de 5 à 10 % du CLA total alors que la somme des isomères exclusivement d'origine ruminale 8*t*,10*c*, 9*t*,11*c*, 9*t*,11*t*, 10*t*,12*c*, 12*t*,14*t* représente généralement moins de 7 % des CLA totaux. Il est également possible de trouver, en l'absence de supplémentation lipidique, des teneurs non négligeables en 11-13 (*c/c*, *c/t*, *t/c* ou *t/t*), jusqu'à 6 % du CLA total (Piperova *et al.*, 2000 ; Looor *et al.*, 2005a ; Roy *et al.*, 2006 ; Shingfield *et al.*, 2006).

##### AGPI octadécatriénoïques

Les teneurs en ALA sont faibles (0,5 % des AG totaux).

Les proportions de l'ARA (moins de 0,2 % des AG totaux), de l'EPA, du DPA et du DHA (chacun moins de 0,1 % des AG totaux) sont toujours très faibles.

#### 1.1.1.3.2. Variations saisonnières (beurres « d'été »)

Par rapport aux beurres d'hiver, les beurres d'été en France sont moins riches en AGS pairs de 4 à 14 C, et à 16 C (environ - 2 et - 4 points, respectivement) alors que les AG impairs et ramifiés ne varient pas ou très peu. Les AG à 18 C augmentent, en particulier 18:0, 18:1 9c et *trans* 18:1 (environ 1,5, 2,5 et 1 points, respectivement), et dans une moindre mesure 18:2 9c,11t, ALA et 18:2 9t,12c, 11t,15c (environ 0,4, 0,2 et 0,1 point, respectivement) (tableau 9).

Ces augmentations estivales des différents AG *trans* sont tout à fait comparables à celles rapportées sur plus de 1500 beurres allemands (Precht et Molkentin, 2000 ; tableau 9).

Sur un beurre d'été allemand (Precht *et al.*, 1999), on observe 6,1 % (AG totaux) de *trans* 18:1 (+ 115 % par rapport au beurre d'hiver) : l'isomère 11t (+ 244 % par rapport au beurre d'hiver) en représentait 62 %, suivi par les isomères 15t, 13/14t, 12t, 10t, 6/7/8t, 9 et 16t (8 % à 4 %) et des traces de 4t et 5t. Par ailleurs, sur un lait d'été canadien, Destailats *et al.* (2005) observent la présence de 0,03 % de deux isomères conjugués du 18:3 (9c,11t,15c et 9c,13t,15c) dans les AG totaux.

### 1.1.2. Effets des facteurs génétiques et physiologiques sur la composition en AG des lipides du lait

#### 1.1.2.1. Race

Les effets liés à la race ou au génotype sont significatifs mais d'ampleur limitée (Gibson, 1991 ; Palmquist *et al.*, 1993) et ne peuvent être obtenus qu'à moyen terme (au minimum une dizaine d'années), et en interaction avec les contraintes inhérentes aux autres critères héréditaires à sélectionner. Par rapport à la race Holstein, le lait de la race Jersiaise est plus riche en lipides et ceux-ci plus riches en AG à chaîne moyenne (de 3 à 6 points pour les AG de 6 à 14 C et parfois 16 C) au détriment des AG insaturés (18:1 9c principalement), et ceci quel que soit le régime alimentaire de la vache (Beaulieu et Palmquist, 1995 ; Drackley *et al.*, 2001 ; White *et al.*, 2001 ; Kelsey *et al.*, 2003). Ces différences sont cohérentes avec le fait que la sélection des vaches en vue d'accroître le TB du lait se traduit par un accroissement de sa teneur en AGS à chaîne courte et moyenne (Palmquist *et al.*, 1993).

Parmi les races exploitées en France, la Normande et la Montbéliarde diffèrent peu de la Holstein, avec toutefois un peu moins de 16:0 et un peu plus d'AG en 18 C (Lawless *et al.*, 1999 ; Delaby *et al.*, 2002). La Tarentaise a quant à elle, un lait bien moins riche en 16:0 que la Montbéliarde (3 à 4 points) et plus riche en 18:0 et dans une moindre mesure en LA et ALA (Ferlay *et al.*, 2006). Un classement des races par teneur croissante en 16:0 serait donc : Tarentaise << Montbéliarde < ou = Normande < Holstein < ou = Jersiaise. Les effets de la race sur le CLA du lait sont quantitativement limités (<0,3 g/100 g).

#### 1.1.2.2. Stade de lactation, fréquence de traite et bilan énergétique

L'effet du stade de lactation est marqué, principalement lié au bilan énergétique négatif et à la mobilisation des réserves lipidiques en début de lactation, ce qui entraîne une augmentation des acides stéarique et oléique (Palmquist *et al.*, 1993). Ces AG peuvent atteindre 50 % (contre moins de 30 % en milieu de lactation) des AG totaux au détriment des AG à chaîne moyenne, de 10 à 16 C principalement (Chilliard *et al.*, 1991 b).

La modification de la fréquence de traite n'a pas d'effet sur la composition en AG du lait, sauf de façon indirecte, lorsque du fait de la réduction du niveau de production laitière, elle accroît le bilan énergétique des vaches et limite donc les effets décrits ci-dessus, en début de lactation ou lors de périodes de sous-alimentation (Chilliard *et al.*, 2006 c).

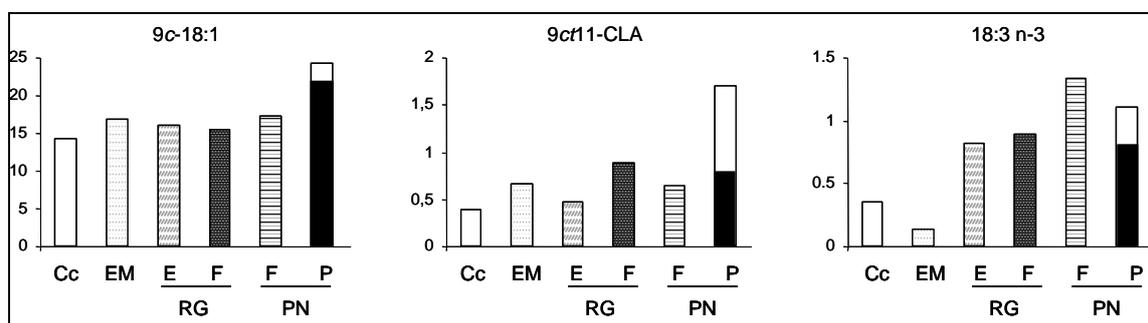
### 1.1.3. Modification par l'alimentation de la composition en AG des lipides du lait

L'alimentation est un moyen naturel permettant aux éleveurs de moduler fortement et rapidement la composition des AG du lait, notamment via l'apport de suppléments lipidiques dans la ration. Toutefois, la part des suppléments lipidiques dans l'alimentation des vaches laitières reste modeste dans les élevages laitiers et ce sont les variations de la nature et des proportions respectives des fourrages (et notamment de l'herbe pâturée), et des aliments concentrés riches en glucides et en protéines qui jouent un rôle déterminant pour les variations de la composition en AG des laits de grand mélange. L'impact des régimes alimentaires des vaches sur les grandes classes d'AGS, AGMI *cis* ou *trans*, AGPI et CLA est présenté ci-dessous.

#### 1.1.3.1. Effet d'une alimentation au pâturage

Dans les pays tempérés, l'herbe fraîche contient de 1 % à 3 % d'AG contenant de 50 % à 75 % d'ALA, avec des maxima observés au printemps et en automne (pousse et repousses) (Kuzdzal-Savoie et Kuzdzal, 1961 ; Bauchart *et al.*, 1984 ; Elgersma *et al.*, 2006). Ces variations de la teneur en ALA de l'herbe expliquent en grande partie les fluctuations saisonnières des teneurs en ALA et en CLA 18:2 9c,11t du lait en zones tempérées, en lien avec le fait que la biohydrogénation ruminale de l'ALA produit du 18:1 11t qui est ensuite prélevé par la glande mammaire et désaturé en 18:2 9c,11t.

Les teneurs de l'herbe en AG et en ALA varient rapidement en début de saison, expliquant que le lait soit plus riche en 18:0, 18:1 9c, 18:1 11t, 18:2 9c,11t et ALA, trois à six semaines après la mise à l'herbe (Ferlay *et al.*, 2006 ; figure 7). Par ailleurs, l'augmentation de l'intervalle entre les coupes réduit les teneurs de l'herbe en AG totaux et en ALA alors que la fertilisation azotée augmente la teneur en AG sans modifier leur profil (Dewhurst *et al.*, 2006). L'effet de la mise à l'herbe est très rapide et l'on observe une réponse maximale en 5 à 6 jours (Chilliard *et al.*, 2001b). Inversement, le passage du pâturage à l'alimentation hivernale s'accompagne rapidement (en moins de 4 jours) de modifications inverses de la composition en AG du lait (Elgersma *et al.*, 2004).



**Abréviations :** Cc, régime riche en concentré ; régimes riches en fourrages : E, ensilage ; EM, ensilage de maïs ; F, foin ; P, pâturage 3 ou 6 (■) semaines après la mise à l'herbe ; PN, prairie naturelle ; RG, ray-grass.

Figure 7 : Effets de la nature des fourrages sur les teneurs (% en AG totaux) du lait de vache en acides oléique, ruménique et alpha-linolénique (d'après Ferlay *et al.*, 2006).

Par rapport à des rations mixtes (ensilage d'herbe ou de maïs et 20 % à 45 % de concentrés, 11 lots), la consommation exclusive de pâturage (7 lots) permet d'augmenter les concentrations dans le lait du 18:0 (+2 points), 18:1 9c (+ 8 points) et de l'ALA (qui passe de 0,3-0,5 % à 1,4 % des AG totaux), tout en diminuant celles du 10:0 au 16:0 qui passent de 54 % à 41 % des AG totaux (revue de Chilliard *et al.*, 2001 a). Ces données ont été confirmées et précisées récemment : la teneur en 18:1 9c passe ainsi de 14-18 % avec des régimes hivernaux pauvres en lipides, à 22-24 % à l'herbe qui apporte des AGPI qui peuvent être hydrogénés dans le rumen en 18:0 (Ferlay *et al.*, 2006 ; figure 7). La substitution isoénergétique d'une ration ensilage de maïs/tourteau de soja (82/18) par une ration herbe/céréales (82/18) augmente le 18:0, le 18:1 9c, le 18:1 11t, le 18:2 9c,11t et l'ALA de 3, 7, 3, 1,2 et 0,6 points respectivement et diminue les AGS pairs de 4 à 14 C et surtout le 16:0 (-13 points) (Couvreur *et al.*, 2007). Toutefois, des teneurs en ALA ne dépassant pas 1 % des AG totaux sont fréquemment observées au pâturage (Lawless *et al.*, 1998 ; Delaby *et al.*, 2002 ; Kay *et al.*, 2005) probablement lorsque le stade de végétation de l'herbe est plus avancé.

Lors de 6 comparaisons directes entre pâturage de graminées et rations mixtes, on observe aussi un accroissement de l'ALA (qui passe de 0,5 à 1,0 % des AG totaux) et du CLA (qui passe de 0,5 à 1,4 % des AG totaux) (tableau 11). Les effets sur les autres AG sont inconstants, probablement en raison de la variabilité importante des teneurs et de la nature des concentrés des régimes hivernaux. Comparé à une ration complète mixte, le pâturage augmente les 4:0, 6:0, 15:0, 17:0, 17:1, 18:1 11t, 18:2 9c,11t et ALA et diminue les 16:0 6t à 18:1 10t et le LA (Kay *et al.*, 2005).

De nombreuses autres études au pâturage (Chilliard *et al.*, 2002 ; Schroeder *et al.*, 2004) confirment que la teneur en CLA du lait est augmentée 2 à 3 fois par rapport aux régimes hivernaux. Elle varie toutefois largement entre essais de 0,5 % à 2,2 % des AG totaux pour des pâturages en zones de plaine (Stanton *et al.*, 1997 ; Rego *et al.*, 2005). Par ailleurs, la teneur en 18:2 15c,11t (intermédiaire de biohydrogénation ruminale de l'ALA) est plus élevée au pâturage (0,5-0,8 % des AG totaux) qu'en régime hivernal (<0,1 %) (Elgersma *et al.*, 2006).

Le pâturage d'avoine augmente aussi les teneurs du lait en ALA et CLA (+ 0,4 et 0,8 point, respectivement) au détriment du 16:0 et du 18:0 par rapport à des rations complètes à base d'ensilage de maïs (Schroeder *et al.*, 2003 et 2005). Par ailleurs, le pâturage de luzerne augmente les teneurs du lait en 18:0, 18:1 9c et LA au détriment du 14:0 et du 16:0, par rapport à l'ensilage de luzerne (Whiting *et al.*, 2004).

**Tableau 11 : Effets de rations à base d'herbe ou d'ensilage de trèfle sur les principaux AGPI du lait de vache<sup>1</sup>.**

(calculé d'après la revue de Dewhurst *et al.*, 2006).

Ration	LA	CLA	ALA
Pâturage <sup>2</sup>	1,77 (±0,62)	1,40 (±0,73)	0,98 (±0,38)
Fourrages conservés <sup>3</sup>	1,98 (±0,79)	0,45 (±0,15)	0,54 (±0,42)
Différence <sup>4,5</sup>	0,21 (±0,28)	0,94 (±0,63)*	0,44 (±0,15)**
Ensilage de trèfle <sup>6</sup>	1,62 (±0,15)	0,38 (±0,04)	1,07 (0,27)
Ensilage d'herbe <sup>6</sup>	1,18 (±0,21)	0,39 (±0,04)	0,44 (0,04)
Différence <sup>4,7</sup>	0,44 (±0,10)***	0,01 (±0,05)	0,63 (0,26)**

1- AG en % AG totaux, moyenne (± écart-type).

- 2- Pâturage avec de faibles quantités de concentré (généralement 0-25 % de la ration).
- 3- Fourrages conservés avec des quantités moyennes de concentré (généralement 13-53 % de la ration).
- 4- \*, \*\*, \*\*\* = différence significativement différente de zéro ( $P < 0,05$ ; 0,01; 0,001; respectivement) (test *t* apparié).
- 5- 5 à 6 comparaisons directes.
- 6- Ensilages distribués *ad libitum*, avec 8 kg/j (5 comparaisons) ou 4 kg/j (1 comparaison) de concentré.
- 7- 4 à 6 comparaisons directes.

L'augmentation de la part du pâturage dans la ration permet des réponses généralement linéaires d'augmentation des teneurs en ALA, 18:1 11t et 18:2 9c,11t du lait et de diminution des teneurs en AGS de 10 à 16 C. Ainsi, lorsque le pâturage passe de 1/3 à 3/3 de la ration, les teneurs en ALA et 18:2 9c,11t du lait passent chacune de 0,8-0,9 % à 2,0-2,2 % des AG totaux (Dhiman *et al.*, 1999) ou bien de 0,4 à 0,7 % (ALA) et de 0,54 à 1,65 % (18:2 9c,11t) (Couvreur *et al.*, 2006). L'effet de la composition botanique des prairies cultivées semble peu important (Delagarde et Peyraud, 2002) mais il est difficile de l'évaluer sans interactions avec les facteurs physiologiques et environnementaux (Dewhurst *et al.*, 2006).

Un suivi des tournées de ramassage en Haute-Loire (Agabriel *et al.*, 2004 ; Ferlay *et al.*, 2008 ; tableaux 12 et 13) montre que le pâturage de prairies permanentes de montagne, comparé à un système de plaine à base de pâturage (2/3) et d'ensilage de maïs (1/3), diminue dans le lait le 16:0 (-4,6 points) et augmente les AGMI *trans* à 16 C et 18 C (+ 2 points dont 1,7 pour le 18:1 11t), le 18:2 9c,11t (+ 0,8 point) et l'ALA (+ 0,3 point). En prenant comme référence des régimes hivernaux riches en ensilage de maïs dans cette zone, ces variations deviennent considérables : -9,5, + 3,1 (dont 2,6 pour le 18:1 11t), + 1,2 et + 0,5 points, respectivement, et il s'y ajoute un doublement de la teneur en EPA (0,04 % à 0,08 % des AG totaux). La composition en AG du lait de tournées issu de vaches au pâturage ne recevant pas d'ensilage de maïs (régimes E3 à E5 du tableau 13) est très voisine de celle observée dans un récapitulatif bibliographique d'essais d'alimentation au pâturage (tableau 14).

Des modifications du même ordre ou supérieures sont observées dans les laits ou fromages d'alpages (de 1000 à 2100 m d'altitude) comparés à des systèmes utilisant des fourrages conservés et des concentrés en plaine, lors de 7 comparaisons (Chilliard *et al.*, 2007) : diminution des AGS pairs (12:0, -0,9 point ; 14:0, -1,9 points ; 16:0, -6,0 points) et augmentation du 18:1 11t (+ 2,6 points), du CLA (+ 1,3 points), de l'ALA (+ 0,8 point) ainsi que du 18:1 9c (+3,8 points). Des gradients de richesse en ces mêmes AG sont observés entre alpage > prairie permanente de première coupe > prairie permanente de seconde coupe > prairie temporaire > ensilage d'herbe > foin > ensilage de maïs (Lucas *et al.*, 2006 a).

Les teneurs élevées de l'ALA dans les laits d'alpage pourraient être dues à des particularités de la flore alpine, pas uniquement liées à une teneur élevée en ALA de ces herbes d'alpage mais surtout liées à leur richesse en dicotylédones pouvant contenir des composés réduisant la biohydrogénation ruminale (Leiber *et al.*, 2005). Les teneurs élevées en 18:1 9c des mêmes laits d'alpage pourraient être dues à une sollicitation importante des réserves corporelles adipeuses riches en cet AG (Leiber *et al.*, 2005). On observe par ailleurs une forte augmentation dans les laits d'alpage du 18:2 11c,13t et surtout du 18:2 13c,11t qui devient ainsi le second isomère des CLAs (0,27 % des lipides soit 8 % des CLA), après le 18:2 9c,11t dont la teneur atteint 2,7 % des lipides (Kraft *et al.*, 2003). Simultanément, le 18:1 11t atteint 3,9 % des lipides soit 65 % des *trans* 18:1, les AG impairs et ramifiés augmentent et le 16:0 descend à moins de 22 % des lipides. Il serait intéressant de savoir si des vaches de race Tarentaise placées dans des alpages comparables produiraient un lait encore moins riche en acide palmitique.

Par ailleurs, le pâturage d'espèces végétales riches en tannins comparé à celui de ray-grass accroît les teneurs des 12:0, 14:0, 16:0, LA et ALA et diminue celles des 18:1 9c, 18:1 11t et

18:2 9c,11t, en raison d'une réduction de la biohydrogénation ruminale par les tannins (Dewhurst *et al.*, 2006).

Tableau 12 : Caractéristiques des "troupeaux moyens" correspondant à 9 variantes de régime alimentaire, en Haute-Loire (Agabriel et al., 2004).

Variantes d'alimentation Nombre de « troupeaux moyens »	HIVERNAGE				PÂTURAGE					ET R	P <. <sup>1</sup>
	H1 n=4	H2 n=4	H3 n=8	H4 n=4	E1 n=7	E2 n=6	E3 n=6	E4 n=5	E5 n=6		
Localisation <sup>2</sup>	plaine	½ mont	½ mont + mont	mont	plaine	½ mont	½ mont + mont	½ mont + mont	mont		
Altitude <sup>3</sup> (m)	454	782	1024	1129	474	840	915	1019	1122		
<i>Nature des fourrages</i>											
% Prairies permanentes	19 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	40 <sup>b</sup>	97 <sup>e</sup>	34 <sup>b</sup>	54 <sup>c</sup>	60 <sup>c</sup>	76 <sup>d</sup>	96 <sup>e</sup>	7	***
% Prairies temporaires	19 <sup>b</sup>	43 <sup>d</sup>	58 <sup>e</sup>	3 <sup>a</sup>	32 <sup>cd</sup>	39 <sup>d</sup>	40 <sup>d</sup>	23 <sup>bc</sup>	3 <sup>a</sup>	9	***
% Maïs plante entière	62 <sup>c</sup>	35 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	33 <sup>b</sup>	7 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	4	***
<i>Mode de conservation des fourrages</i>											
% Herbe	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	49 <sup>b</sup>	71 <sup>c</sup>	73 <sup>c</sup>	68 <sup>c</sup>	77 <sup>c</sup>	8	***
% Foin	16 <sup>ab</sup>	20 <sup>ab</sup>	38 <sup>c</sup>	65 <sup>d</sup>	11 <sup>a</sup>	15 <sup>ab</sup>	21 <sup>ab</sup>	27 <sup>b</sup>	21 <sup>ab</sup>	8	***
% Enrubannage	2 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	27 <sup>b</sup>	35 <sup>c</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	6	***
% Ensilage herbe	20 <sup>b</sup>	41 <sup>d</sup>	33 <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	6	***
% Ensilage de maïs	62 <sup>c</sup>	35 <sup>b</sup>	2 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	33 <sup>b</sup>	7 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	4	***
Aliment concentré (kg/j)	4,2 <sup>bc</sup>	4,5 <sup>cd</sup>	5,0 <sup>d</sup>	3,3 <sup>a</sup>	3,7 <sup>b</sup>	3,3 <sup>ab</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	2,6 <sup>a</sup>	0,5	***
<i>Race des vaches laitières</i>											
% Montbéliardes	37 <sup>a</sup>	53 <sup>b</sup>	80 <sup>cd</sup>	97 <sup>d</sup>	55 <sup>b</sup>	61 <sup>bc</sup>	76 <sup>c</sup>	80 <sup>cd</sup>	97 <sup>d</sup>	12	***
% Prim'holstein	61 <sup>d</sup>	43 <sup>c</sup>	18 <sup>ab</sup>	2 <sup>a</sup>	45 <sup>c</sup>	36 <sup>c</sup>	21 <sup>b</sup>	17 <sup>ab</sup>	2 <sup>a</sup>	11	***
Stade physiologique (mois)	4,8 <sup>a</sup>	5,2 <sup>abc</sup>	5,1 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>c</sup>	6,2 <sup>d</sup>	5,9 <sup>cd</sup>	5,6 <sup>bcd</sup>	5,6 <sup>bcd</sup>	5,2 <sup>abc</sup>	0,3	***

Sur une même ligne, les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % (Newman Keuls) – ETR = Ecart Type Résiduel.

<sup>1</sup> signification statistique : \*\*\*:  $P \leq 0,001$

<sup>2</sup> mont = montagne

<sup>3</sup> altitude de localisation des vaches.

Tableau 13 : Composition en AG de laits de citerne (10 à 36 troupeaux par tournée) selon 9 variantes de régime alimentaire<sup>1</sup> en Haute-Loire (Ferlay et al., 2008).

Variantes d'alimentation Nombre de "troupeaux moyens" <sup>4</sup>	HIVERNAGE				PÂTURAGE					ETR <sup>2</sup>	Stat. <sup>3</sup>
	H1 n = 4	H2 n = 4	H3 n = 8	H4 n = 4	E1 n = 7	E2 n = 6	E3 n = 6	E4 n = 5	E5 n = 6		
Taux butyreux (g/kg)	46,2	45,8	39,7	46,9	43,4	40,9	42,6	41,2	40,0	4,0	ns
<b>AG (% AG totaux)</b>											
4:0	3,11 <sup>a</sup>	3,06 <sup>a</sup>	3,04 <sup>a</sup>	3,35 <sup>ab</sup>	3,12 <sup>a</sup>	3,19 <sup>ab</sup>	3,19 <sup>ab</sup>	3,8 <sup>a</sup>	3,54 <sup>b</sup>	0,21	**
6:0	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2	2,2	2,1	2,2	2,3	0,12	ns
8:0	1,4 <sup>b</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>a</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	0,08	+
10:0	3,3 <sup>c</sup>	3,2 <sup>bc</sup>	3,1 <sup>bc</sup>	3,1 <sup>bc</sup>	3,0 <sup>abc</sup>	3,0 <sup>abc</sup>	2,7 <sup>a</sup>	3,0 <sup>abc</sup>	2,9 <sup>ab</sup>	0,20	***
10:1 9c	0,29 <sup>ab</sup>	0,29 <sup>abc</sup>	0,30 <sup>bc</sup>	0,31 <sup>c</sup>	0,29 <sup>ab</sup>	0,28 <sup>ab</sup>	0,26 <sup>a</sup>	0,27 <sup>ab</sup>	0,27 <sup>ab</sup>	0,02	***
12:0	3,8 <sup>d</sup>	3,6 <sup>cd</sup>	3,6 <sup>cd</sup>	3,5 <sup>bcd</sup>	3,3 <sup>bc</sup>	3,3 <sup>abc</sup>	3,0 <sup>a</sup>	3,3 <sup>abc</sup>	3,1 <sup>ab</sup>	0,2	***
13:0	0,21 <sup>d</sup>	0,20 <sup>cd</sup>	0,20 <sup>cd</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	0,19 <sup>bc</sup>	0,18 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,18 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>a</sup>	0,01	***
iso 14:0	0,11 <sup>a</sup>	0,12 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>cd</sup>	0,20 <sup>e</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,14 <sup>bc</sup>	0,16 <sup>cd</sup>	0,15 <sup>bc</sup>	0,18 <sup>d</sup>	0,02	***
14:0	11,9 <sup>c</sup>	12,0 <sup>c</sup>	12,3 <sup>c</sup>	12,3 <sup>c</sup>	11,3 <sup>b</sup>	11,0 <sup>ab</sup>	10,7 <sup>a</sup>	10,9 <sup>ab</sup>	10,8 <sup>ab</sup>	0,34	***
iso 15:0	0,24 <sup>a</sup>	0,28 <sup>b</sup>	0,34 <sup>cd</sup>	0,40 <sup>e</sup>	0,30 <sup>bc</sup>	0,33 <sup>cd</sup>	0,36 <sup>de</sup>	0,34 <sup>cd</sup>	0,40 <sup>e</sup>	0,03	***
antéiso 15:0	0,45 <sup>a</sup>	0,51 <sup>b</sup>	0,59 <sup>cd</sup>	0,68 <sup>e</sup>	0,55 <sup>bc</sup>	0,60 <sup>cd</sup>	0,63 <sup>de</sup>	0,65 <sup>de</sup>	0,70 <sup>e</sup>	0,04	***
14:1 9c	0,93 <sup>b</sup>	0,95 <sup>bc</sup>	1,00 <sup>cd</sup>	1,04 <sup>d</sup>	0,95 <sup>bc</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,82 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	0,04	***
15:0	1,2 <sup>a</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,4 <sup>c</sup>	1,4 <sup>c</sup>	1,2 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>ab</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	0,05	***
iso 16:0	0,27 <sup>a</sup>	0,30 <sup>ab</sup>	0,36 <sup>c</sup>	0,41 <sup>d</sup>	0,28 <sup>a</sup>	0,32 <sup>abc</sup>	0,34 <sup>bc</sup>	0,33 <sup>bc</sup>	0,36 <sup>c</sup>	0,03	***
16:0	35,3 <sup>d</sup>	34,7 <sup>d</sup>	34,0 <sup>d</sup>	32,4 <sup>c</sup>	30,4 <sup>b</sup>	27,6 <sup>a</sup>	27,3 <sup>a</sup>	26,6 <sup>a</sup>	25,8 <sup>a</sup>	1,3	***
iso 17:0	0,33 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	0,45 <sup>cd</sup>	0,43 <sup>bc</sup>	0,47 <sup>d</sup>	0,48 <sup>d</sup>	0,49 <sup>d</sup>	0,48 <sup>d</sup>	0,03	***
16:1 9f	0,05 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,13 <sup>c</sup>	0,15 <sup>c</sup>	0,15 <sup>c</sup>	0,19 <sup>d</sup>	0,02	***
antéiso 17:0	0,49 <sup>a</sup>	0,61 <sup>b</sup>	0,66 <sup>bc</sup>	0,66 <sup>bc</sup>	0,64 <sup>bc</sup>	0,67 <sup>bc</sup>	0,71 <sup>c</sup>	0,69 <sup>bc</sup>	0,66 <sup>bc</sup>	0,04	***
16:1 9c	1,6 <sup>c</sup>	1,5 <sup>c</sup>	1,5 <sup>c</sup>	1,5 <sup>c</sup>	1,5 <sup>c</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	1,2 <sup>b</sup>	1,1 <sup>a</sup>	0,08	***
17:0	0,57 <sup>a</sup>	0,62 <sup>ab</sup>	0,68 <sup>c</sup>	0,70 <sup>c</sup>	0,61 <sup>ab</sup>	0,65 <sup>bc</sup>	0,70 <sup>c</sup>	0,69 <sup>c</sup>	0,69 <sup>c</sup>	0,04	***
iso 18:0	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,07 <sup>b</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,007	***
17:1 9c	0,24 <sup>a</sup>	0,25 <sup>ab</sup>	0,28 <sup>bc</sup>	0,29 <sup>c</sup>	0,26 <sup>abc</sup>	0,26 <sup>abc</sup>	0,28 <sup>bc</sup>	0,27 <sup>abc</sup>	0,25 <sup>ab</sup>	0,02	**
18:0	8,9 <sup>a</sup>	8,8 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>	8,4 <sup>a</sup>	9,9 <sup>b</sup>	10,4 <sup>bc</sup>	10,6 <sup>bc</sup>	10,4 <sup>bc</sup>	10,7 <sup>c</sup>	0,42	***

Variantes d'alimentation Nombre de "troupeaux moyens" <sup>4</sup>	HIVERNAGE				PÂTURAGE					ETR <sup>2</sup>	Stat. <sup>3</sup>	
	H1 n = 4	H2 n = 4	H3 n = 8	H4 n = 4	E1 n = 7	E2 n = 6	E3 n = 6	E4 n = 5	E5 n = 6			
<b>AG (% AG totaux)</b>												
Isomères des <i>trans</i> 18:1												
6+7+8t	0,14 <sup>bc</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,16 <sup>cd</sup>	0,17 <sup>cd</sup>	0,18 <sup>de</sup>	0,17 <sup>cde</sup>	0,20 <sup>e</sup>	0,02	***	
9t	0,17 <sup>b</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,14 <sup>ab</sup>	0,15 <sup>ab</sup>	0,20 <sup>c</sup>	0,20 <sup>c</sup>	0,21 <sup>c</sup>	0,21 <sup>c</sup>	0,24 <sup>d</sup>	0,02	***	
10t	0,21 <sup>b</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,24 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,25 <sup>b</sup>	0,26 <sup>b</sup>	0,04	***	
11t	0,73 <sup>a</sup>	0,70 <sup>a</sup>	0,84 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	1,58 <sup>b</sup>	2,27 <sup>c</sup>	2,53 <sup>c</sup>	2,77 <sup>c</sup>	3,32 <sup>d</sup>	0,34	***	
12t	0,19 <sup>c</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,22 <sup>cd</sup>	0,22 <sup>d</sup>	0,22 <sup>cd</sup>	0,24 <sup>d</sup>	0,24 <sup>d</sup>	0,02	***	
13t+14t	0,43 <sup>abc</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,37 <sup>ab</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,49 <sup>bc</sup>	0,53 <sup>c</sup>	0,50 <sup>bc</sup>	0,57 <sup>c</sup>	0,58 <sup>c</sup>	0,08	***	
Total	1,87 <sup>a</sup>	1,61 <sup>a</sup>	1,70 <sup>a</sup>	1,94 <sup>a</sup>	2,89 <sup>b</sup>	3,61 <sup>c</sup>	3,86 <sup>cd</sup>	4,21 <sup>d</sup>	4,85 <sup>e</sup>	0,37	***	
Isomères des <i>cis</i> 18:1												
9c	16,3 <sup>a</sup>	16,6 <sup>ab</sup>	16,1 <sup>ab</sup>	17,7 <sup>b</sup>	19,1 <sup>c</sup>	19,8 <sup>c</sup>	20,5 <sup>c</sup>	20,2 <sup>c</sup>	19,6 <sup>c</sup>	0,8	***	
11c	0,50 <sup>b</sup>	0,44 <sup>a</sup>	0,44 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	0,55 <sup>bcd</sup>	0,54 <sup>bcd</sup>	0,56 <sup>cd</sup>	0,58 <sup>d</sup>	0,51 <sup>bc</sup>	0,03	***	
12c	0,18 <sup>c</sup>	0,13 <sup>b</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,13 <sup>ab</sup>	0,11 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>ab</sup>	0,11 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>ab</sup>	0,02	***	
13c	0,06 <sup>c</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,03 <sup>a</sup>	0,06 <sup>c</sup>	0,05 <sup>c</sup>	0,05 <sup>bc</sup>	0,05 <sup>c</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,007	***	
16t+14c	0,22 <sup>b</sup>	0,22 <sup>b</sup>	0,19 <sup>ab</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,29 <sup>c</sup>	0,32 <sup>c</sup>	0,30 <sup>c</sup>	0,31 <sup>c</sup>	0,31 <sup>c</sup>	0,03	***	
15c	0,05 <sup>a</sup>	0,07 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,05 <sup>a</sup>	0,09 <sup>abc</sup>	0,12 <sup>c</sup>	0,12 <sup>bc</sup>	0,09 <sup>abc</sup>	0,08 <sup>abc</sup>	0,03	***	
Total <sup>4</sup>	17,07 <sup>a</sup>	17,23 <sup>a</sup>	17,70 <sup>a</sup>	18,34 <sup>a</sup>	19,95 <sup>b</sup>	20,63 <sup>b</sup>	21,33 <sup>b</sup>	21,07 <sup>b</sup>	20,36 <sup>b</sup>	0,88	***	
18:2 9c, 13t	0,09 <sup>a</sup>	0,10 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,19 <sup>b</sup>	0,18 <sup>b</sup>	0,19 <sup>b</sup>	0,19 <sup>b</sup>	0,02	***	
18:2 9c, 12t	0,01 <sup>ab</sup>	0,05 <sup>ab</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,03 <sup>ab</sup>	0,08 <sup>b</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,03 <sup>ab</sup>	0,04 <sup>ab</sup>	0,03	**	
18:2 11t, 15c	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,11 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	0,29 <sup>c</sup>	0,31 <sup>c</sup>	0,29 <sup>c</sup>	0,38 <sup>c</sup>	0,06	***	
LA	1,44	1,30	1,32	1,30	1,33	1,36	1,41	1,43	1,37	0,07	*	
20:0	0,12	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13	0,02	ns	
ALA	0,3 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,5 <sup>b</sup>	0,8 <sup>c</sup>	0,8 <sup>c</sup>	0,9 <sup>c</sup>	0,8 <sup>c</sup>	0,07	***	
18:2 9c, 11t	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>ab</sup>	0,7 <sup>b</sup>	1,0 <sup>c</sup>	1,2 <sup>c</sup>	1,2 <sup>c</sup>	1,5 <sup>d</sup>	0,18	***	
18:2 9c, 11c	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,02 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,05 <sup>bc</sup>	0,05 <sup>bc</sup>	0,07 <sup>c</sup>	0,02	***	

Variantes d'alimentation Nombre de "troupeaux moyens" <sup>4</sup>	HIVERNAGE				PÂTURAGE					ETR <sup>2</sup>	Stat. <sup>3</sup>	
	H1 n = 4	H2 n = 4	H3 n = 8	H4 n = 4	E1 n = 7	E2 n = 6	E3 n = 6	E4 n = 5	E5 n = 6			
<b>AG (% AG totaux)</b>												
tt-CLA	0,0 <sup>a</sup>	0,007 <sup>ab</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,006 <sup>ab</sup>	0,019 <sup>b</sup>	0,012 <sup>ab</sup>	0,011 <sup>ab</sup>	0,006 <sup>ab</sup>	0,008	**	
20:2 n-6	0,015	0,011	0,005	0,005	0,005	0,002	0,003	0,000	0,000	0,007	+	
22:0	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,01	ns	
20:3 n-6	0,08 <sup>c</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,07 <sup>bc</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>ab</sup>	0,06 <sup>a</sup>	0,006	***	
20:3 n-3	0,002	0,009	0,010	0,002	0,003	0,007	0,007	0,011	0,002	0,006	*	
ARA	0,11 <sup>c</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>b</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,09 <sup>ab</sup>	0,08 <sup>ab</sup>	0,08 <sup>a</sup>	0,01	***	
22:2 n-6	0,01 <sup>a</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,05 <sup>b</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,04 <sup>b</sup>	0,03 <sup>b</sup>	0,008	***	
EPA	0,04 <sup>a</sup>	0,06 <sup>b</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,06 <sup>b</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,08 <sup>c</sup>	0,01	***	
22:4 n-6	0,011	0,012	0,016	0,018	0,010	0,007	0,007	0,019	0,000	0,017	ns	
DPA	0,072	0,089	0,085	0,085	0,082	0,093	0,092	0,088	0,094	0,014	ns	
DHA	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001	0,018	0,000	0,000	0,001	0,015	ns	
AGS	70,09 <sup>d</sup>	69,21 <sup>d</sup>	68,11 <sup>cd</sup>	66,81 <sup>c</sup>	64,72 <sup>b</sup>	62,15 <sup>a</sup>	60,98 <sup>a</sup>	60,91 <sup>a</sup>	60,81 <sup>a</sup>	1,48	***	
AG impairs à chaîne courte <sup>5</sup>	0,18 <sup>e</sup>	0,15 <sup>de</sup>	0,13 <sup>c</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,14 <sup>cd</sup>	0,12 <sup>bc</sup>	0,10 <sup>ab</sup>	0,12 <sup>bc</sup>	0,10 <sup>ab</sup>	0,02	***	
AG impairs à chaîne moyenne et AG ramifiés <sup>6</sup>	3,92 <sup>a</sup>	4,37 <sup>b</sup>	4,89 <sup>cd</sup>	5,21 <sup>d</sup>	4,40 <sup>b</sup>	4,63 <sup>bc</sup>	4,87 <sup>cd</sup>	4,85 <sup>cd</sup>	4,99 <sup>cd</sup>	0,21	***	
AG trans totaux <sup>7</sup>	2,30 <sup>a</sup>	2,12 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>	2,68 <sup>a</sup>	3,96 <sup>b</sup>	5,21 <sup>c</sup>	5,56 <sup>c</sup>	5,96 <sup>c</sup>	6,94 <sup>d</sup>	0,62	***	

Sur une même ligne, les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % (Newman Keuls) – ETR = Ecart Type Résiduel.

<sup>1</sup> variantes présentées dans le tableau 12

<sup>2</sup> ETR = écart type résiduel

<sup>3</sup> signification statistique, ns :  $P > 0,10$  ; + :  $P \leq 0,10$  ; \* :  $P \leq 0,05$  ; \*\* :  $P \leq 0,01$  ; \*\*\* :  $P \leq 0,001$ . a, b, c, d. Sur une même ligne, Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes entre elles au seuil de 5 % (Student-Newman-Keuls).

<sup>4</sup> sauf t16+c14-18:1.

<sup>5</sup> AG impairs à chaîne courte (5:0 + 7:0 + 9:0 + 11:0)

<sup>6</sup> AG impairs à chaîne moyenne et AG ramifiés (13:0 + 15:0 + 17:0 + iso-14 + iso-15 + antéiso-15 + iso 16 + iso 17 + antéiso-17 + iso 18).

<sup>7</sup> 18:1 trans + 18:2 trans non conjugués + tt-CLA + 9c11t-CLA.

**Tableau 14 : Composition moyenne (g/100 g d'AG totaux) et variabilité des AG du lait de 12 lots de vaches recevant du pâturage comme seul fourrage (Glasser et al., 2008 a et b).**

Variable	Moyenne	n lots	Min	Max	Ecart-type
Concentré ingéré (kg/l)	1,81	12	0	6,7	2,42
Production laitière (kg/l)	19,98	12	12,7	26,4	4,75
Taux butyreux (%)	3,93	12	3,37	4,92	0,40
4:0	3,17	7	2,39	4,03	0,70
6:0	1,90	8	1,06	2,64	0,49
8:0	1,18	8	0,86	1,55	0,23
10:0	2,61	10	1,8	3,71	0,61
10:1	0,31	3	0,21	0,37	0,08
12:0	3,06	10	2,33	4,18	0,55
12:1	0,15	2	0,14	0,17	0,02
14:0	10,60	10	9,1	12,29	0,95
14:1	1,28	7	0,89	1,89	0,32
15:0	1,56	6	1,02	2,26	0,41
16:0	26,26	11	23,17	30,98	2,54
16:1	1,82	11	1,07	2,55	0,40
17:0	0,98	4	0,58	1,67	0,48
17:1	0,38	4	0,28	0,47	0,10
18:0	11,23	12	8,83	12,1	0,92
18:1	26,64	12	19,5	32,6	3,78
<i>cis</i> 18:1	20,77	8	16,9	25,5	3,08
18:1 9c	20,82	5	18,28	23,62	2,40
<i>trans</i> 18:1	4,79	8	1,09	8,57	2,43
18:1 10t	0,33	3	0,13	0,59	0,24
18:1 11t	2,98	3	2,4	3,56	0,58
18:1 10t+11t	3,62	5	2,99	4,92	0,79
18:1 12t	0,26	3	0,09	0,43	0,17
18:1 13t+14t	0,52	2	0,37	0,66	0,21
18:1 16t	0,42	2	0,36	0,47	0,08
18:2 total	2,70	12	1,76	4,76	0,88
LA	1,36	7	0,55	2,51	0,60
CLA total	1,50	11	0,48	2,25	0,58
18:2 9c,11t	1,67	5	1,21	2,21	0,46
18:3 total	0,82	12	0,5	2,02	0,40
ALA	0,78	5	0,6	0,99	0,17
20:0	0,17	2	0,12	0,21	0,06

### 1.1.3.2. Effet de la nature des fourrages stockés

Une première approche, à partir d'une base de données sur le lait de vache (Glasser *et al.*, 2008 a et b), permet de comparer indirectement des rations contenant un fourrage dominant particulier (plus des 2/3 du fourrage total ingéré) tel que ensilages de légumineuses, de maïs, ou d'herbe (graminées) (tableau 15). Le nombre de données disponibles et complètes sur le foin est trop faible pour fournir une estimation fiable ; néanmoins, pour ce type d'aliment, on peut se référer à la colonne H4 des tableaux 12 et 13.

Par rapport à l'ensilage de graminées, celui de légumineuses favorise principalement le LA, l'ALA et plus faiblement les 8:0, 12:0, 15:0 et 16:1, au détriment du 18:0, des *cis* 18:1 et des *trans* 18:1.

Par rapport à l'ensilage de maïs, celui de légumineuses favorise principalement l'ALA (et un peu le 18:0 et le 18:2 10*t*,12*c*) au détriment des AGS de 10 à 14 C et des *trans* 18:1.

Par rapport à l'ensilage de maïs celui de graminées favorise le 18:0 et les *cis* 18:1 au détriment des AG de 8 à 17 C et du LA.

Ces comparaisons indirectes sur un nombre limité d'expérimentations et sujettes à des facteurs d'interaction, non strictement comparables d'un essai à l'autre (% de concentrés notamment, tableau 15) devront toutefois être confirmées par des comparaisons directes.

**Tableau 15 : Effets de rations à base de différents fourrages sur la composition en AG du lait de vache (Glasser *et al.*, 2008 a et b)<sup>1</sup>.**

Fourrage	EL	EM	EH	EL vs EM	EL vs EH	EM vs EH
Nombre lots	20	35	10			
Fourrages (% MS <sup>2</sup> )	52	61	60	*		
Production de lait (kg/j)	31,8	27,5	23,1	*	***	*
Taux Butyreux (g/100g)	3,51	3,82	4,03	+	***	
<b>AG</b> (% AG totaux)						
8:0	1,50	1,54	1,20		+	*
10:0	3,19	3,70	2,81	**		**
12:0	4,06	4,37	3,52	+	+	**
14:0	12,09	12,72	11,67	+		+
14:1	1,52	1,59	1,14			+
15:0	1,36	1,48	1,11		**	
16:0	31,54	32,88	30,90			
17:0	0,69	0,68	0,54			+
18:0	10,01	9,25	11,29	+	*	**
18:1 total	21,81	20,85	23,48		+	*
<i>cis</i> 18:1	18,94	18,77	21,37		+	+
<i>trans</i> 18:1	1,24	1,84	2,25	+	+	
18:1 6 <i>t</i> +7 <i>t</i> +8 <i>t</i>	-	0,18	0,26			

Fourrage	EL	EM	EH	EL vs EM	EL vs EH	EM vs EH
<b>Nombre lots</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>10</b>			
18:1 9t	-	0,17	0,26			
18:1 10t	-	0,31	0,21			
18:1 11t	1,21	1,59	1,89			
18:1 12t	-	0,29	0,34			
18:1 13t+14t	-	0,54	0,63			
18:1 15t	-	0,18	0,50			
18:1 16t	-	0,19	0,46			
18:2 total	2,72	2,50	1,73		**	**
LA	2,23	2,21	1,53			*
18:2 11t,15c	-	0,20	0,19			
18:2 9c,13t	-	0,23	0,09			
CLA total	0,50	0,58	0,56			
18:2 9c,11t	0,48	0,47	0,37			
18:2 10t,12c	0,03	0,01	0,02	**		
18:2 11t,13t	-	0,01	0,02			
ALA	0,72	0,37	0,43	***	**	
AGS (4:0 à 24:0)	71,1	71,0	67,9			
dont 12:0 +14:0 + 16:0 + 18:0	58,4	59,2	57,5			
AG <i>trans</i> totaux	1,63	2,99	3,06			
dont 18:1 9t+10t+11t	-	1,52	2,27			

<sup>1</sup> les régimes sélectionnés comportaient au moins 66 % de fourrage majoritaire (EL, EM, EH) dans la fraction fourrage de la ration.

EL, EM, EH = Ensilage de Légumineuses, de Maïs, ou d'Herbe (respectivement).

<sup>2</sup> Fourr. % MS = % de l'ensemble des fourrages consommés, dans la MS de la ration totale.

+, \*, \*\*, \*\*\* différence significative entre 2 colonnes (P<0,10 ; 0,05 ; 0,01 ; 0,001 ; respectivement).

#### 1.1.3.2.1. Foin et ensilage de graminées

Le fanage de l'herbe en foin et, dans une moindre mesure son préfanage avant de réaliser certains ensilages, s'accompagnent d'une baisse sensible de sa teneur en AG et surtout en ALA, en raison d'une part de l'oxydation de cet AG et d'autre part de la perte relative de feuilles qui en sont plus riches que les tiges (Dewhurst *et al.*, 2006). De ce fait, la teneur du foin en ALA peut être de l'ordre de 25 à 50 % de celle de l'ensilage (dans lequel les lipides sont largement hydrolysés en AG libres qui semblent être stables) (Doreau et Poncet, 2000 ; Shingfield *et al.*, 2005 b).

Toutefois, le lait de vaches nourries au foin est plus riche en LA et ALA que lorsqu'elles reçoivent de l'ensilage d'herbe. En effet, les taux de transfert de la ration au lait sont pour le LA ou l'ALA de 29 ou 17 % avec le foin, contre 15 ou 3 % pour l'ensilage, respectivement (Shingfield *et al.*, 2005 b). Ceci peut être rapproché du fait que le degré d'hydrogénation ruminale est plus faible avec le foin que l'herbe (Doreau *et al.*, 2005). Par ailleurs des foins provenant d'une herbe de qualité et séchés en grange afin de limiter les pertes au fanage peuvent avoir des teneurs élevées en AG et en ALA permettant la production d'un lait plus

riche en ALA que le pâturage et plus riche en 18:1 11*t* et 18:2 9*c*,11*t* que l'ensilage d'herbe (Ferlay *et al.*, 2006 ; figure 9). L'enrubannage, comparé à l'ensilage, ne produit que des différences mineures de composition en AG du lait (Ferlay *et al.*, 2002 b).

#### 1.1.3.2.2. Ensilage de légumineuses

L'ensilage de trèfle violet (4 essais) ou blanc (2 essais), comparé à l'ensilage de graminées (tableau 11), permet d'augmenter les teneurs du lait en LA et en ALA de 0,4 et 0,6 point, respectivement. Ceci est dû notamment à un taux de transfert de l'ALA de la ration au lait de 9 % avec le trèfle violet, contre 4,5 % avec les graminées, et à la richesse de l'ensilage de trèfle blanc en ALA (Dewhurst *et al.*, 2006). Les autres AG du lait ne sont pas ou peu modifiés.

Selon certaines études, les laits issus de l'agriculture biologique présentent des teneurs sensiblement plus élevées en ALA et en 18:2 9*c*,11*t* (Jahreis *et al.*, 1997 ; Kraft *et al.*, 2003 ; M. Gerber, communication personnelle). L'effet sur le 18:2 9*c*,11*t* n'est toutefois pas observé dans des études à plus grande échelle en Europe du Nord (Ellis *et al.*, 2006). L'utilisation importante de légumineuses dans ces élevages pourrait expliquer l'effet positif observé sur l'ALA, même si l'utilisation importante de pâturage dans ces systèmes de production peut également y contribuer. Des laits produits au pâturage (plaines de Thuringe) en agriculture biologique sont plus riches en isomères 12*c*, 13*c*, 15*c*, 4*t*, 5*t*, 12*t*, 14 à 16*t* et surtout 18:1 13*t* que des laits produits en agriculture conventionnelle ou en alpage, moins riches en 18:1 10*t* et plus riches en isomères mineurs du CLA que ceux de l'agriculture conventionnelle et moins riches en 18:1 11*t* que ceux des alpages (Kraft *et al.*, 2003). Cette grande diversité et richesse en isomères mineurs nécessiteraient toutefois d'être confirmées par des études complémentaires à plus grande échelle dans d'autres systèmes d'élevage biologique.

#### 1.1.3.2.3. Ensilage de maïs

L'ensilage de maïs (qui contient généralement de 30 à 50 % de grains) est pauvre en ALA et riche en LA et en 18:1 9*c*. Ceci explique qu'il augmente fortement le rapport n-6/n-3 du lait par rapport à l'ensilage d'herbe (Chilliard *et al.*, 2001 a) sans modifier le 18:2 9*c*,11*t* (Chilliard et Ferlay, 2004) ou en l'augmentant légèrement, ainsi que le 18:1 11*t* et le 18:2 9*c*,13*t* (Ferlay *et al.*, 2006). En fermes, et en comparaison à des rations dont le fourrage était exclusivement du foin (séché ou enrubanné) de prairie permanente de montagne, des rations riches (62 % des fourrages) en ensilage de maïs et faiblement supplémentées en concentrés, augmentent le rapport n-6/n-3 et le 16:0, tout en diminuant le 18:1 9*c* et le 18:2 9*c*,11*t* (tableaux 12 et 13). Ceci a été confirmé en Normandie pour l'ALA (Houssin *et al.*, 2005).

Un régime ensilage de maïs + concentré comparé à un régime foin réduit les teneurs du lait en AG ramifiés, en 18:2 11*t*,15*c*, 11*t*,13*c*, 11*t*,13*t*, 12*t*,14*t* et augmente celles en 18:1 11*c*, 12*c*, 12*t*, 18:2 7*t*,9*c*, 8*t*,10*c*, 9*t*,11*c*, 10*t*,12*c* (Roy *et al.*, 2006).

#### 1.1.3.3. Effet du pourcentage de concentré

L'effet de l'augmentation du pourcentage de concentré de la ration sur le taux butyreux (TB) (Journet et Chilliard, 1985) et sur les teneurs en AG du lait n'étant pas linéaire, les essais disponibles dans la base de données (Glasser *et al.*, 2008 a et b) avec des comparaisons directes (intra-essai) de ce facteur ont été séparés en deux groupes (tableau 16), avec un lot témoin soit riche (86 %, RF) soit assez pauvre (56 %, PF) en fourrages, respectivement. Ceci revient donc à comparer, intra-groupe, des augmentations du % de concentré de 14 à 47 (+ 33 points, groupe RF) et de 44 à 81 (+ 37 points, groupe PF).

Dans le groupe RF, l'augmentation du pourcentage de concentré augmente fortement la production de lait et de matière grasse et ne diminue que légèrement le TB (tableau 16). Elle accroît les pourcentages des AG de 8 à 14 C, du LA et de 18:1 6/7/8t (et 18:1 10t de façon sensible quoique non significative du fait du faible nombre d'essais disponibles) et elle diminue ceux des *cis*-18:1, 18:1 11t et ALA. Ces résultats sont confirmés par la comparaison d'apports de 0, 2, 4 et 6 kg de concentré par jour au pâturage (Delaby *et al.*, 2002) et par 3 autres comparaisons directes de 4 contre 8 kg concentré/jour (avec 3 types d'ensilages) montrant des effets similaires à ceux du tableau 16 et de légères diminutions des AG impairs et ramifiés et du 16:0 (Dewhurst *et al.*, 2003 a).

Dans le groupe PF, l'augmentation du % de concentré n'augmente pas la production de lait et elle diminue fortement le TB et la production de matière grasse (tableau 16). Elle réduit les pourcentages des AGS totaux (- 6,9 points), AGS pairs de 4 à 14 C (NS) et surtout du 16:0 (P<0,1) et du 18:0 (P<0,001) et elle augmente ceux des 13:0, 15:0, 16:1, *trans* 18:1 (18:1 10t de façon assez forte quoique non significative), LA (P<0,05) et faiblement celui du 18:2 10t,12c.

On peut donc en conclure que l'augmentation du pourcentage de concentré a des effets très différents et parfois opposés sur le profil des AG du lait selon qu'elle s'opère avec des rations riches ou pauvres en fourrages. Les seuls points communs entre les deux groupes sont les augmentations du LA et du 18:1 10t (respectivement 1,7 et 1,1 points en cumulant les variations des groupes RF et PF ; tableau 16). L'augmentation du 18:1 10t est notée dans la totalité des 5 essais disponibles (P<0,1) mais elle est variable en amplitude d'un essai à l'autre. Ces effets sont à relier à l'augmentation des flux duodénaux d'AG *trans* ou d'AGPI observés lorsque le pourcentage de concentré augmente avec des rations à base d'ensilage de maïs (Piperova *et al.*, 2002) ou de foin (Loor *et al.*, 2004), notamment les isomères 10t, 13/14t et 15t du 18:1 et le LA (voir aussi tableaux 7 A et B).

L'effet d'une augmentation du pourcentage de concentré est toutefois complexe à interpréter. En effet, l'augmentation de la teneur en amidon et autres glucides rapidement fermentescibles qui diminue le TB du lait avec une ration classique apportant une quantité faible à moyenne d'AGPI (présents dans les fourrages, les céréales,...) ne se manifeste pas ou très peu avec une ration où ces AG ont été remplacés par une quantité équivalente d'AGS (Griinari *et al.*, 1998). Il existe donc d'importantes interactions fourrages-concentrés amylicés-lipides sur les AG du lait.

**Tableau 16 : Effets de l'augmentation du pourcentage de concentrés, dans des rations soit riches, soit pauvres en fourrages sur la composition en AG du lait de vache (Glasser *et al.*, 2008 a et b).**

Variable <sup>3</sup>	Rations riches en fourrages <sup>1</sup> (RF)			Rations pauvres en fourrages <sup>2</sup> (PF)		
	N <sup>4</sup>	Moyenne <sup>5</sup>	ET	N <sup>4</sup>	Moyenne <sup>5</sup>	ET
d/% Concentrés (kg/l)	8	33**	6,9	8	37***	1,2
d/Prod. Lait	8	6,6*	1,9	8	0,8	0,9
d/Sécrétion MG (g/l)	8	202*	67	8	-259**	68
d/Taux Butyreux (g/100g)	8	-0,18*	0,08	8	-1,29***	0,25
<b>AG (% AG totaux)</b>						
d/4:0	3	-0,07	0,11	5	-0,54	0,25
d/6:0	6	0,14	0,07	5	-0,38	0,20
d/8:0	6	0,16*	0,04	7	-0,27	0,15
d/10:0	8	0,53***	0,09	7	-0,10	0,15
d/12:0	8	0,73***	0,14	7	-0,04	0,17

Variable <sup>3</sup>	Rations riches en fourrages <sup>1</sup> (RF)			Rations pauvres en fourrages <sup>2</sup> (PF)		
	N <sup>4</sup>	Moyenne <sup>5</sup>	ET	N <sup>4</sup>	Moyenne <sup>5</sup>	ET
d/13:0				3	0,09*	0,01
d/14:0	8	1,14***	0,22	8	-0,44	0,30
d/14:1	6	0,14*	0,04	5	0,28	0,15
d/15:0	5	-0,04	0,05	4	0,40*	0,11
d/16:0	8	-0,32	0,59	8	-3,26+	1,67
d/16:1	8	-0,19+	0,10	6	0,42*	0,15
d/17:0	5	-0,04	0,02	4	0,04	0,02
d/18:0	8	0,31	0,49	8	-2,07***	0,29
d/18:1	8	-1,93**	0,51	8	3,77*	1,47
d/cis-18:1	4	-2,54+	0,86	4	0,57	0,63
d/18:1 9c	3	-2,59	1,20	3	0,88	0,57
d/trans18:1	6	-0,13+	0,05	5	1,76*	0,48
d/18:1 6+7+8t	2	0,10*	0,005	3	0,12	0,06
d/18:1 9t	3	0,05	0,02	3	0,09	0,04
d/18:1 10t	2	0,21	0,07	3	0,86	0,36
d/18:1 11t	5	-0,29	0,16	3	0,18	0,15
d/18:1 12t	2	0,13	0,05	3	0,10	0,04
d/18:1 13t+14t				3	0,16	0,08
d/18:1 16t				3	0,03	0,02
d/18:2	8	0,54+	0,25	6	1,54**	0,32
d/LA	7	0,94+	0,39	2	1,03*	0,07
d/18:2 9c,11t	7	-0,26	0,18	3	0,09	0,07
d/18:2 10t,12c	3	-0,06	0,03	3	0,005+	0,001
d/ALA	8	-0,55*	0,22	6	-0,02	0,05
d/AGS (4:0 à 24:0)	4	3,43+	1,11	5	-6,86+	1,67
dont 12:0+14:0+16:0+18:0	8	1,87*	0,59	7	-5,98*	2,01
d/AG trans totaux	6	-0,23	0,22	5	1,94*	0,53
dont 18:1 9t+10t+11t	3	-0,28	0,13	3	1,14	0,55

<sup>1</sup>Pour ces rations, on passe en moyenne de 14 % (0-40) à 46 % (35-55) % de concentrés, et de 4,0 à 3,8 % de TB du lait.

<sup>2</sup>Pour ces rations, on passe en moyenne de 44 (30-56) à 81 (65-93) % de concentrés, et de 4,0 à 2,7 % de TB du lait.

<sup>3</sup> d= différence due à l'augmentation du % de concentrés au sein de chaque type de ration (riche ou pauvre en fourrages).

Prod. Lait. = Production Laitière. MG = Matière Grasse du Lait.

<sup>4</sup> Nombre de comparaisons directes entre lots de vaches.

<sup>5</sup> Moyenne des différences. Les différences sont significativement différentes de zéro (+, \*, \*\*, \*\*\* aux seuils de 0,10 ; 0,05 ; 0,01 et 0,001, respectivement). ET = erreur-type

En conclusion, par rapport à des rations riches en concentrés et/ou en ensilage de maïs, les rations à base d'herbe (pâturée jeune ou correctement conservée) diminuent les AGS au profit du 18:1 9c et du 18:1 11t, et dans une moindre mesure de l'ALA et du 18:2 9c,11t.

L'ensilage de trèfle violet ou blanc, comparé à l'ensilage de graminées, permet d'augmenter la teneur du lait en ALA. L'augmentation du pourcentage de concentré a des effets très différents sur le profil des AG du lait selon qu'elle s'opère sur des rations riches ou pauvres en fourrages mais entraîne très généralement des augmentations du LA et du 18:1 10f.

#### 1.1.3.4. Effet d'apports de lipides alimentaires

La supplémentation lipidique des rations a été utilisée depuis des décennies en recherche, et dans une certaine mesure en élevage, pour modifier les performances et le métabolisme énergétique des vaches laitières (Chilliard, 1993 ; Chilliard et Ollier, 1994 ; Lock et Shingfield, 2004) et/ou la composition en AG du lait (Palmquist *et al.*, 1993 ; Chilliard *et al.*, 2000 ; Chilliard *et al.*, 2007 ; Givens et Shingfield, 2006 ; Shingfield *et al.*, 2008). La nature et la forme de présentation des lipides influencent les résultats obtenus sur la production et les teneurs en matières grasses et en protéines du lait : tendance à l'accroissement de production de lait (avec les lipides saturés et les graines de soja notamment), diminution faible mais quasi-systématique du TP, variation limitée du TB à l'exception des huiles de colza et surtout de poisson qui entraînent une forte baisse de ce taux et des lipides protégés par encapsulation (matières grasses animales ou huiles végétales) qui l'accroissent fortement (tableau 17).

Tableau 17 : Effets de la supplémentation lipidique sur la production et la composition du lait de vache.

Lipides alimentaires	N (Q) <sup>1</sup>	Production laitière (kg/l) <sup>2</sup>	TP (g/kg)	TB (g/kg)	Production de matières grasses (g/l)
Graisses animales <sup>3</sup>	22 (688)	+0,5	-0,6*	-1,4	-18
Suif protégé <sup>4</sup>	26 (941)	+1,0*	-1,8*	+4,0*	+143*
AGS <sup>3</sup>	10 (644)	+1,7*	-0,6*	+0,5	+58*
Savons de Ca d'huile de palme <sup>4</sup>	29 (593)	+0,9*	-1,2*	+0,4	+47*
Huile de colza <sup>5</sup>	5 (742)	-1,9*	0,0	-5,9*	-215*
Savons de Ca d'huile de colza <sup>5</sup>	11 (562)	+0,5	-2,0*	-3,9*	-94*
Graines de colza <sup>5,6</sup>	11 (927)	+0,8	-0,3*	-3,1*	-83*
Graines de colza chauffées <sup>5</sup>	10 (531)	+0,1	-0,5	-1,1*	+39
Huile de tournesol <sup>5</sup>	5 (459)	+1,0	-1,1*	-3,4*	-57*
Graines de tournesol <sup>5,6</sup>	8 (503)	+0,7	+0,4	-1,2	+9
Huile de soja <sup>5</sup>	34 (529)	+0,3	-0,8*	-3,3*	-63*
Graines de soja <sup>5,6</sup>	18 (517)	-0,7	-0,8*	+1,3*	-2
Graines de soja extrudées <sup>5</sup>	16 (544)	+2,7*	-1,1*	-1,9*	+29
Graines de soja chauffées <sup>5</sup>	14 (692)	+1,7*	-1,1*	0,0	+49*
Huile de lin <sup>5</sup>	10 (475)	+1,3*	-0,9*	-1,8	-7
Graines de lin <sup>5,6</sup>	8 (686)	-0,4	-0,5	+0,3	+3
Huiles végétales <sup>7</sup> encapsulées <sup>4,7</sup>	26 (693)	0,0	-0,8	+6,4*	+120*
Huiles marines <sup>8</sup>	27 (305)	+0,2	-1,2*	-9,1*	-208*

<sup>(1)</sup> Nombre de lots supplémentés en lipides (Quantité de lipides, g/l) ; <sup>(2)</sup> Effets exprimés par différence avec le lot témoin. \* (P<0,05) ;

<sup>(3)</sup> d'après Chilliard (1993) et Chilliard et Ollier (1994) ; <sup>(4)</sup> protection par encapsulation dans une coque de protéines tannées au formaldéhyde, revue de Chilliard *et al.* (1993) ; <sup>(5)</sup> d'après Chilliard et Ferlay, 2004 ; <sup>(6)</sup> entières, aplaties ou broyées ; <sup>(7)</sup> huiles végétales riches en AG insaturés (carthame, tournesol, soja, colza, ...) ; <sup>(8)</sup> d'après Chilliard *et al.* (2001 b).

De ces données, il apparaît donc que l'apport de différentes sources et/ou forme de lipides induit des modifications importantes de la production de matières grasses laitières et du TB du lait, modifications qui ne sont pas indépendantes des variations du profil en AG du lait.

Les tentatives pour modifier le pourcentage d'une catégorie d'AG se traduisent par des modifications simultanées d'autres AG qui peuvent être considérés comme favorables ou défavorables à la santé humaine. Ainsi, les régimes qui diminuent la teneur en AGS du lait et accroissent les AGPI ou les CLA entraînent généralement un accroissement des *trans* 18:1. De plus, il existe d'importantes interactions entre nature des fourrages, pourcentage de concentré dans la ration et suppléments lipidiques, qui modifient à la fois le TB du lait et la sécrétion de matières grasses mais aussi son profil en AG (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Dewhurst *et al.*, 2006 ; Chilliard *et al.*, 2007).

Sont présentés ci-dessous les effets des principaux types de suppléments lipidiques sur les différentes familles d'AG puis les interactions entre suppléments lipidiques et autres composants de la ration et, enfin, les effets de l'ajout de CLA de synthèse dans les rations des vaches laitières.

Les effets des suppléments lipidiques sont évalués en compilant les résultats extraits d'une base de données bibliographiques (270 lots de vaches avec une alimentation supplémentée en lipides protégés -32 lots- ou non -238 lots- et 140 lots de vaches avec une alimentation non supplémentée ; tableaux 18, 19 et 20) (Glasser *et al.*, 2008 a,b) ainsi qu'en utilisant des résultats d'études spécifiques (tableaux 21 et 22). Certaines relations dose-réponse sont calculées pour des AG d'intérêt (tableau 23).

**Tableau 18 : Effets de suppléments en huile de poisson et en huiles et graines oléagineuses sur la teneur des principaux AG du lait de vache (Glasser *et al.*, 2008 a,b)<sup>1</sup>.**

Variable	Rations non supplémentées	Poisson Huile	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
			Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
MG sup. (g/j) <sup>2</sup>	-	275 ± 156 (40)	632 ± 197 (17)	636 ± 326 (7)	679 ± 457 (34)	538 ± 222 (27)	511 ± 287 (21)	535 ± 149 (25)	800 ± 239 (9)	606 ± 242 (7)
MG sup. (%MS) <sup>2</sup>	-	1,51 ± 0,95 (38)	3,5 ± 1,2 (17)	3,3 ± 1,7 (7)	3,9 ± 2,7 (32)	3,1 ± 1,3 (24)	2,9 ± 1,4 (18)	3 ± 1,1 (19)	3,8 ± 1,1 (9)	3,3 ± 1,3 (6)
MG tot. (%MS) <sup>3</sup>	3,08 ± 0,77 (77)	4,7 ± 1,3 (23)	6,5 ± 1,8 (22)	7,2 ± 1,5 (4)	5,4 ± 1,3 (26)	6,7 ± 1,2 (14)	5,27 ± 0,68 (18)	5,83 ± 0,85 (10)	5,96 ± 0,92 (14)	-
<b>AG (% AG totaux)</b>										
4:0	3,4 ± 1,3 (100)	3 ± 1 (30)	2,68 ± 0,77 (20)	3 ± 1,3 (5)	2,86 ± 0,86 (41)	3,7 ± 1,2 (21)	4 ± 1,5 (32)	3,8 ± 1,4 (19)	3 ± 1,3 (8)	3,43 ± 0,71 (3)
6:0	2,27 ± 0,7 (116)	1,71 ± 0,46 (30)	2,03 ± 0,63 (23)	1,71 ± 0,76 (6)	2,01 ± 0,51 (46)	2,42 ± 0,74 (23)	2,35 ± 0,62 (34)	2,09 ± 0,72 (22)	1,7 ± 1 (13)	1,54 ± 0,45 (6)
8:0	1,41 ± 0,43 (121)	1,01 ± 0,27 (30)	1,18 ± 0,37 (23)	0,97 ± 0,38 (6)	1,21 ± 0,38 (50)	1,27 ± 0,39 (23)	1,32 ± 0,39 (35)	1,02 ± 0,35 (22)	0,95 ± 0,47 (13)	0,84 ± 0,28 (6)
10:0	3,32 ± 0,86 (128)	2,45 ± 0,63 (32)	2,53 ± 0,95 (27)	1,96 ± 0,76 (6)	2,69 ± 0,8 (52)	2,83 ± 0,77 (24)	2,76 ± 0,67 (37)	2,23 ± 0,71 (22)	2,36 ± 0,58 (15)	1,73 ± 0,49 (6)
10:1	0,27 ± 0,14 (12)	-	-	0,17 ± 0,05 (3)	0,21 ± 0,1 (6)	-	0,08 ± 0,06 (3)	-	-	-
11:0	0,2 ± 0,18 (15)	0,03 ± 0,02 (5)	-	0,05 ± 0,02 (3)	0,28 ± 0,21 (11)	-	0,03 ± 0,01 (4)	-	-	-
12:0	4 ± 1 (129)	3,08 ± 0,67 (32)	3,1 ± 1 (27)	2,24 ± 0,5 (6)	3,19 ± 0,93 (52)	2,98 ± 0,77 (25)	3,14 ± 0,64 (37)	2,59 ± 0,81 (22)	2,89 ± 0,85 (15)	2,04 ± 0,52 (6)
12:1	0,12 ± 0,05 (8)	-	-	-	0,11 ± 0,01 (4)	-	0,06 ± 0,06 (3)	-	-	-

Variable	Rations non supplémentées	Poisson Huile	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
			Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
13:0	0,21 ± 0,18 (17)	0,11 ± 0,08 (5)	0,08 ± 0,02 (4)	0,15 ± 0,07 (3)	0,2 ± 0,14 (8)	-	0,08 ± 0,01 (4)	0,51 ± 0,01 (4)	-	-
14:0	12,2 ± 1,9 (135)	11 ± 1,4 (35)	9,9 ± 2,3 (28)	8,3 ± 1,3 (6)	10,4 ± 1,6 (53)	10,3 ± 1,7 (25)	10,2 ± 1,4 (38)	9,3 ± 2,3 (22)	9,7 ± 1,4 (15)	8,5 ± 1,3 (7)
iso 4:0	0,8 ± 1,5 (9)	0,06 ± 0,015 (4)	-	0,08 ± 0,05 (3)	0,87 ± 0,12 (3)	-	-	-	-	-
14:1	1,44 ± 0,59 (97)	1,28 ± 0,4 (25)	1,21 ± 0,71 (22)	0,85 ± 0,23 (6)	1,23 ± 0,56 (42)	1,01 ± 0,24 (19)	1,12 ± 0,33 (32)	0,96 ± 0,52 (18)	1,05 ± 0,38 (12)	1,09 ± 0,24 (5)
15:0	1,4 ± 0,39 (76)	1,13 ± 0,18 (14)	1,05 ± 0,23 (23)	0,96 ± 0,18 (6)	1,22 ± 0,25 (32)	1,05 ± 0,16 (16)	1,14 ± 0,41 (17)	0,88 ± 0,22 (12)	0,92 ± 0,23 (7)	1,05 ± 0,45 (6)
15:0br	0,88 ± 0,39 (14)	0,79 ± 0,10 (4)	-	0,8 ± 0,29 (3)	0,79 ± 0,52 (10)	-	-	-	-	-
15:1	0,32 ± 0,31 (10)	0,04 ± 0,01 (5)	-	-	-	-	0,12 ± 0,14 (4)	-	-	-
16:0	31,2 ± 4,6 (140)	30,5 ± 3,5 (38)	24 ± 4 (30)	20,7 ± 6,6 (6)	25 ± 3,9 (53)	25,1 ± 3,4 (28)	24,5 ± 3,6 (39)	27,2 ± 5,5 (22)	24 ± 4,1 (15)	20,8 ± 3,3 (7)
iso 16:0	0,28 ± 0,08 (9)	0,17 ± 0,05 (4)	-	0,21 ± 0,09 (3)	0,32 ± 0,07 (4)	-	-	-	-	-
16:1	2,08 ± 0,95 (121)	2,51 ± 0,97 (37)	1,43 ± 0,78 (27)	1,49 ± 0,74 (6)	1,83 ± 0,88 (48)	1,55 ± 0,56 (25)	1,8 ± 0,69 (36)	1,66 ± 0,59 (22)	1,8 ± 1,1 (11)	1,81 ± 0,53 (7)
<i>cis</i> 16:1	1,58 ± 0,47 (29)	2,03 ± 0,67 (8)	1,12 ± 0,69 (10)	0,95 ± 0,67 (5)	1,45 ± 0,41 (6)	1,24 ± 0,38 (13)	1,31 ± 0,03 (3)	-	-	-
<i>trans</i> 16:1	0,42 ± 0,31 (18)	0,37 ± 0,19 (4)	0,22 ± 0,18 (7)	0,4 ± 0,33 (5)	0,34 ± 0,19 (4)	0,58 ± 0,23 (13)	-	-	-	-

Variable	Rations non supplémentées	Poisson Huile	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
			Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
17:0	0,71 ± 0,26 (73)	0,56 ± 0,14 (14)	0,58 ± 0,11 (19)	0,56 ± 0,05 (5)	0,59 ± 0,22 (32)	0,6 ± 0,11 (17)	0,68 ± 0,33 (16)	0,55 ± 0,08 (12)	0,49 ± 0,15 (3)	0,65 ± 0,37 (5)
antéiso 17:0	0,66 ± 0,22 (5)	-	-	-	0,83 ± 0,06 (4)	-	-	-	-	-
iso 17:0	0,50 ± 0,05 (5)	-	-	-	0,48 ± 0,07 (4)	-	-	-	-	-
17:1	0,29 ± 0,11 (25)	0,24 ± 0,11 (6)	0,17 ± 0,01 (4)	0,19 ± 0,03 (3)	0,22 ± 0,05 (8)	-	0,27 ± 0,06 (5)	-	0,39 ± 0,1 (3)	-
18:0	9,6 ± 2,4 (140)	6,5 ± 2,3 (41)	14,1 ± 3 (30)	12,7 ± 2,9 (6)	13,1 ± 2,1 (53)	13,8 ± 2,2 (28)	12,4 ± 2,1 (38)	12,9 ± 3,2 (24)	14,6 ± 3,6 (15)	12,3 ± 3 (7)
18:1 total	22 ± 4,2 (144)	23,1 ± 4,4 (41)	29,1 ± 5,5 (31)	34,4 ± 6,1 (6)	29 ± 5,1 (53)	31,2 ± 5,8 (28)	27,4 ± 4,2 (39)	30 ± 5,3 (24)	34,9 ± 5,4 (15)	35,1 ± 6,5 (7)
<i>cis</i> 18:1	19,7 ± 3,7 (92)	15,7 ± 3,9 (36)	26,5 ± 5,1 (26)	25 ± 6,6 (4)	25,2 ± 6 (19)	27 ± 4,6 (24)	22,6 ± 3,1 (20)	24,3 ± 3,5 (21)	28,8 ± 5,2 (9)	25,3 ± 3,9 (6)
<i>trans</i> 18:1	2,1 ± 1,2 (91)	7,2 ± 4 (32)	3,2 ± 1,9 (24)	8,9 ± 4,1 (5)	2,22 ± 0,79 (18)	4,2 ± 1,8 (26)	4,1 ± 2,2 (20)	5,8 ± 3,4 (24)	5,8 ± 2,4 (9)	8,9 ± 3,5 (6)
18:2	2,9 ± 1,3 (141)	4,5 ± 2,1 (41)	3,3 ± 1,1 (30)	7,1 ± 5,7 (6)	2,7 ± 1,2 (53)	2,57 ± 0,83 (28)	4,8 ± 1,7 (39)	3,2 ± 1,5 (21)	3,6 ± 1,4 (15)	4,8 ± 1,5 (7)
18:3 total	0,64 ± 0,46 (129)	0,57 ± 0,21 (40)	1,12 ± 0,36 (31)	0,83 ± 0,53 (6)	0,65 ± 0,22 (50)	0,56 ± 0,31 (27)	0,89 ± 0,48 (34)	0,52 ± 0,21 (18)	0,7 ± 0,95 (11)	1 ± 1,3 (7)
18:3 n-6	0,14 ± 0,10 (15)	0,19 ± 0,1 (14)	0,04 ± 0,05 (3)	-	-	-	0,2 ± 0,19 (5)	-	-	-
ALA	0,56 ± 0,26 (54)	0,48 ± 0,21 (38)	1,08 ± 0,41 (17)	1,04 ± 0,49 (4)	0,63 ± 0,31 (11)	0,46 ± 0,14 (4)	0,73 ± 0,18 (10)	0,5 ± 0,14 (7)	0,55 ± 0,24 (5)	0,60 ± 0,09 (4)

Variable	Rations non supplémentées	Poisson Huile	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
			Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
18:4	0,08 ± 0,10 (4)	0,21 ± 0,22 (6)	-	-	-	-	-	-	-	-
19:0	0,27 ± 0,19 (6)	-	-	-	0,47 ± 0,06 (3)	-	-	0,34 ± 0,0082 (4)	-	-
20:0	0,29 ± 0,28 (43)	0,49 ± 0,43 (10)	0,24 ± 0,1 (11)	0,07 ± 0,04 (4)	0,52 ± 0,38 (21)	0,27 ± 0,11 (4)	0,28 ± 0,36 (9)	0,16 ± 0,07 (6)	-	0,18 ± 0,03 (3)
20:1	0,15 ± 0,1 (32)	0,44 ± 0,45 (23)	0,13 ± 0,04 (5)	0,13 ± 0,07 (3)	0,25 ± 0,13 (10)	-	0,15 ± 0,15 (6)	0,17 ± 0,01 (4)	0,16 ± 0,04 (3)	-
20:2 n-6	0,06 ± 0,07 (11)	0,1 ± 0,04 (8)	0,03 ± 0,01 (3)	-	0,10 ± 0,10 (3)	-	0,08 ± 0,08 (5)	-	-	-
20:3 n-6	0,11 ± 0,05 (18)	0,15 ± 0,11 (6)	0,07 ± 0,03 (7)	0,04 ± 0,02 (3)	0,12 ± 0,05 (5)	-	0,13 ± 0,03 (5)	-	0,09 ± 0,04 (4)	-
ARA	0,14 ± 0,06 (33)	0,29 ± 0,32 (26)	0,11 ± 0,05 (10)	0,06 ± 0,02 (5)	0,11 ± 0,01 (4)	0,10 ± 0,01 (9)	0,19 ± 0,06 (5)	0,10 ± 0,01 (3)	0,14 ± 0,05 (5)	0,18 ± 0,05 (3)
EPA	0,05 ± 0,02 (34)	0,21 ± 0,13 (37)	0,07 ± 0,02 (7)	0,06 ± 0,03 (4)	0,07 ± 0,04 (3)	-	0,06 ± 0,01 (7)	-	0,04 ± 0,03 (4)	-
21:0	0,04 ± 0,02 (8)	0,11 ± 0,09 (6)	-	-	-	-	0,03 ± 0,01 (4)	-	-	-
22:0	0,06 ± 0,05 (16)	0,11 ± 0,05 (6)	0,02 ± 0,01 (4)	0,01 ± 0,02 (3)	0,12 ± 0,08 (5)	-	0,07 ± 0,02 (4)	-	-	-
22:1	0,05 ± 0,06 (13)	0,16 ± 0,14 (9)	-	-	0,31 ± 0,25 (3)	-	0,08 ± 0,08 (4)	-	-	-
22:2	0,03 ± 0,04 (6)	0,01 ± 0,01 (4)	-	-	-	-	-	-	-	-

Variable	Rations non supplémentées	Poisson Huile	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
			Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
22:4	0,02 ± 0,01 (6)	-	0,01 ± 0,01 (3)	0,01 ± 0,02 (3)	-	-	-	-	-	-
DPA	0,08 ± 0,04 (28)	0,23 ± 0,12 (28)	0,08 ± 0,03 (7)	0,05 ± 0,02 (4)	0,22 ± 0,16 (3)	-	0,10 ± 0,02 (5)	-	0,10 ± 0,03 (3)	-
DHA	0,03 ± 0,03 (29)	0,19 ± 0,15 (38)	0,01 ± 0,01 (4)	0,07 ± 0,06 (3)	0,01 ± 0,01 (3)	-	0,02 ± 0,01 (5)	-	0,01 ± 0,01 (3)	-
23:0	0,05 ± 0,04 (7)	0,11 ± 0,05 (6)	-	-	-	-	0,06 ± 0,022 (4)	-	-	-
24:0	0,03 ± 0,02 (7)	0,05 ± 0,02 (6)	-	-	-	-	0,03 ± 0,01 (3)	-	-	-
24:1	0,09 ± 0,12 (5)	0,16 ± 0,17 (6)	-	-	-	-	-	-	-	-
AGS (4:0 à 24:0)	68,6 ± 5,8 (108)	60 ± 6,8 (30)	60,8 ± 6,9 (20)	55,6 ± 9,5 (5)	62 ± 6,7 (42)	63,2 ± 5,6 (23)	60,7 ± 6 (34)	62,1 ± 7 (20)	58,3 ± 6,7 (9)	52,3 ± 9 (4)
dont 12:0+14:0 +16:0+18:0	57,2 ± 5,5 (129)	50,8 ± 5,1 (32)	51,5 ± 5 (27)	44 ± 9 (6)	51,8 ± 4,9 (52)	52,3 ± 4,4 (25)	50 ± 5,7 (37)	51,9 ± 6,5 (22)	51,1 ± 4,7 (15)	42,6 ± 4 (6)
AG trans totaux	3,1 ± 1,7 (48)	10,7 ± 4,0 (17)	4,7 ± 2,6 (17)	14,8 ± 4,7 (4)	3,1 ± 1,5 (5)	5,2 ± 1,8 (14)	5,3 ± 2,7 (13)	4,7 ± 3,0 (15)	6,9 ± 2,8 (4)	-
dont 18:1 9t+10t+11t	1,71 ± 0,94 (25)	5,4 ± 3,5 (15)	2,4 ± 1,5 (9)	4,8 ± 2,7 (4)	-	1,87 ± 0,55 (4)	3,2 ± 1,5 (8)	2,5 ± 1,3 (7)	3,8 ± 1,1 (4)	6 ± 1,2 (3)

<sup>1</sup> moyenne ± SEM (nombre de lots étudiés) (seuls les cas où N>2 sont considérés).

<sup>2</sup> matière grasse du supplément, en g/j ou en % de la matière sèche ingérée.

<sup>3</sup> matière grasse totale de la ration.

**Tableau 19 : Effets de suppléments en huile de poisson et en huiles et graines oléagineuses sur les teneurs des isomères de 18:1 et 18:2 dans le lait de vache (Glasser *et al.*, 2008 a,b)<sup>1</sup>.**

Variable	Rations non supplémentées	Poisson	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
		Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
MG sup. (g/l) <sup>2</sup>	-	275 ± 156 (40)	632 ± 197 (17)	636 ± 326 (7)	679 ± 457 (34)	538 ± 222 (27)	511 ± 287 (21)	535 ± 149 (25)	800 ± 239 (9)	606 ± 242 (7)
MG sup. (%MS) <sup>2</sup>	-	1,51 ± 0,95 (38)	3,5 ± 1,2 (17)	3,3 ± 1,7 (7)	3,9 ± 2,7 (32)	3,1 ± 1,3 (24)	2,9 ± 1,4 (18)	3 ± 1,1 (19)	3,8 ± 1,1 (9)	3,3 ± 1,3 (6)
MG tot. (%MS) <sup>3</sup>	3,08 ± 0,77 (77)	4,7 ± 1,3 (23)	6,5 ± 1,8 (22)	7,2 ± 1,5 (4)	5,4 ± 1,3 (26)	6,7 ± 1,2 (14)	5,27 ± 0,68 (18)	5,83 ± 0,85 (10)	5,96 ± 0,92 (14)	-
<b>Isomères de 18:1 (% AG totaux)</b>										
<i>cis</i> 18:1	19,7 ± 3,7 (92)	15,7 ± 3,9 (36)	26,5 ± 5,1 (26)	25 ± 6,6 (4)	25,2 ± 6 (19)	27 ± 4,6 (24)	22,6 ± 3,1 (20)	24,3 ± 3,5 (21)	28,8 ± 5,2 (9)	25,3 ± 3,9 (6)
<i>trans</i> 18:1	2,1 ± 1,2 (91)	7,2 ± 4 (32)	3,2 ± 1,9 (24)	8,9 ± 4,1 (5)	2,22 ± 0,79 (18)	4,2 ± 1,8 (26)	4,1 ± 2,2 (20)	5,8 ± 3,4 (24)	5,8 ± 2,4 (9)	8,9 ± 3,5 (6)
6c	0,49 ± 0,16 (9)	2,7 ± 2,4 (11)	-	-	-	-	1,07 ± 0,42 (3)	-	-	-
9c	18,9 ± 3,5 (59)	14 ± 3,7 (31)	25,3 ± 5,6 (21)	21,5 ± 4,4 (4)	25,4 ± 7,2 (11)	24,9 ± 3,6 (13)	21,6 ± 2,8 (11)	24,5 ± 3,4 (13)	25,8 ± 7,8 (4)	22,8 ± 3,8 (4)
10c	0,10 ± 0,10 (3)	-	-	0,82 ± 0,54 (3)	-	-	-	-	-	-
11c	0,61 ± 0,34 (35)	0,96 ± 0,39 (14)	0,5 ± 0,15 (13)	0,99 ± 0,4 (4)	0,5 ± 0,17 (7)	1,09 ± 0,34 (9)	0,58 ± 0,09 (7)	0,58 ± 0,26 (11)	0,46 ± 0,16 (4)	-
12c	0,33 ± 0,16 (11)	-	0,29 ± 0,07 (5)	0,55 ± 0,2 (3)	-	-	0,35 ± 0,19 (3)	0,65 ± 0,49 (3)	-	-
13c	0,09 ± 0,04 (10)	-	0,09 ± 0,05 (4)	0,18 ± 0,07 (3)	-	-	-	0,25 ± 0,17 (6)	-	-

Variable	Rations non supplémentées	Poisson	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
		Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
14c+16t	0,28 ± 0,1 (3)	-	0,6 ± 0,24 (4)	-	-	-	-	0,36 ± 0,01 (4)	-	-
4t	0,02 ± 0,01 (6)	-	-	0,04 ± 0,01 (3)	-	-	-	-	-	-
5t	0,02 ± 0,01 (6)	-	-	0,04 ± 0,01 (3)	-	-	-	-	-	-
6+7+8t	0,25 ± 0,10 (22)	0,53 ± 0,25 (14)	0,37 ± 0,27 (6)	0,68 ± 0,11 (3)	-	-	0,39 ± 0,08 (7)	0,38 ± 0,13 (7)	-	0,68 ± 0,14 (3)
9t	0,26 ± 0,17 (25)	0,59 ± 0,27 (15)	0,67 ± 0,51 (9)	0,41 ± 0,15 (4)	-	0,35 ± 0,1 (4)	0,54 ± 0,47 (8)	0,35 ± 0,1 (7)	-	0,68 ± 0,076 (3)
10t	0,54 ± 0,46 (14)	2,2 ± 2,3 (5)	1,4 ± 1,2 (4)	1,6 ± 1,4 (4)	-	-	0,58 ± 0,33 (4)	0,92 ± 0,51 (3)	-	1,44 ± 0,78 (4)
11t	1,57 ± 0,8 (45)	5,3 ± 4 (18)	2,1 ± 1,2 (15)	4,2 ± 3,7 (5)	2,08 ± 0,67 (4)	4,2 ± 2,4 (13)	2,6 ± 1,4 (10)	3,4 ± 3,7 (9)	-	3,72 ± 0,65 (4)
12t	0,36 ± 0,24 (11)	-	0,46 ± 0,26 (5)	0,81 ± 0,26 (3)	-	-	0,45 ± 0,06 (3)	0,57 ± 0,45 (3)	-	-
13t+14t	0,60 ± 0,2 (8)	-	-	2,7 ± 1,6 (3)	-	-	-	-	-	-
15t	0,26 ± 0,17 (4)	-	-	-	-	-	-	0,24 ± 0,01 (4)	-	-
16t	0,34 ± 0,12 (7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>18:2 conjugués (% AG totaux)</b>										
Total	0,7 ± 0,37 (60)	1,94 ± 0,83 (25)	1,02 ± 0,4 (20)	1,81 ± 0,85 (5)	0,88 ± 0,54 (11)	1 ± 0,56 (14)	1,07 ± 0,54 (15)	0,96 ± 0,52 (16)	1,25 ± 0,48 (5)	1,91 ± 0,67 (3)

Variable	Rations non supplémentées	Poisson	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
		Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile	Graines	Huile
9c,11c	0,02 ± 0,03 (4)	-	-	0,05 ± 0,03 (3)	-	-	-	-	-	-
9c,11t	0,57 ± 0,27 (39)	1,32 ± 0,72 (22)	0,8 ± 0,26 (13)	1,63 ± 0,86 (4)	0,68 ± 0,44 (5)	0,59 ± 0,39 (7)	1 ± 0,37 (7)	1,06 ± 0,69 (4)	1,22 ± 0,63 (3)	1,83 ± 0,48 (5)
9t,11c	0,02 ± 0,01 (3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9t,11t	0,06 ± 0,04 (8)	0,17 ± 0,09 (10)	0,02 ± 0,01 (3)	-	-	-	0,06 ± 0,04 (3)	-	-	-
10t,12c	0,02 ± 0,05 (16)	0,02 ± 0,02 (8)	0,14 ± 0,10 (3)	-	-	-	0,04 ± 0,04 (5)	-	-	-
11t,13t	0,02 ± 0,01 (5)	-	0,01 ± 0,01 (3)	0,05 ± 0,05 (3)	-	-	-	-	-	-
<b>18:2 non conjugués (% AG totaux)</b>										
9c,12c	2,5 ± 1 (62)	2,6 ± 1,1 (37)	2,36 ± 0,66 (19)	1,81 ± 0,45 (4)	2 ± 1 (13)	2,23 ± 0,32 (5)	3,93 ± 0,97 (11)	2,63 ± 0,55 (12)	3,2 ± 0,87 (6)	2,7 ± 1,2 (6)
9c,12t	0,12 ± 0,09 (6)	-	-	-	-	-	0,12 ± 0,04 (3)	-	-	-
9t,12t	0,15 ± 0,13 (16)	0,3 ± 0,14 (12)	0,03 ± 0,04 (3)	0,10 ± 0,09 (3)	-	-	0,27 ± 0,19 (6)	-	-	-
9c,13t	0,18 ± 0,08 (5)	-	-	0,95 ± 0,58 (3)	-	-	-	-	-	-
11t,15c	0,21 ± 0,16 (7)	-	-	1,8 ± 1,1 (3)	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup> moyenne ± SEM (nombre de lots étudiés) (seuls les cas où N>2 sont considérés).

<sup>2</sup> matière grasse du supplément, en g/j ou en % de la matière sèche ingérée.

<sup>3</sup> matière grasse totale de la ration.

**Tableau 20 : Effets comparés d'huiles ou graines oléagineuses protégées<sup>1</sup> et de graines non protégées<sup>2</sup> sur les teneurs en AG du lait de vache (Glasser et al., 2008 a,b).**

Variable	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines
MG sup (g/l) <sup>3,4</sup>	677 ± 325 (8)	632 ± 197 (17)	484 ± 309 (9)	679 ± 457 (34)	703 ± 672 (4)	511 ± 287 (21)	697 ± 410 (8)	800 ± 239 (9)
MG sup (%MS) <sup>4</sup>	3,7 ± 2 (8)	3,5 ± 1,2 (17)	2,6 ± 1,5 (9)	3,9 ± 2,7 (32)	4,3 ± 3,1 (4)	2,9 ± 1,4 (18)	4,5 ± 1,9 (8)	3,8 ± 1,1 (9)
MG tot (%MS) <sup>5</sup>	5,5 ± 1,5 (3)	6,5 ± 1,8 (22)	6 ± 1,7 (7)	5,4 ± 1,3 (26)	-	5,27 ± 0,68 (18)	8,1 ± 1,8 (4)	5,96 ± 0,92 (14)
<b>AG (% AG totaux)</b>								
4:0	2,2 ± 1,4 (3)	2,68 ± 0,77 (20)	2,86 ± 0,5 (8)	2,86 ± 0,86 (41)	-	4 ± 1,5 (32)	5,43 ± 0,15 (3)	3 ± 1,3 (8)
6:0	1,73 ± 0,24 (3)	2,03 ± 0,63 (23)	1,68 ± 0,58 (9)	2,01 ± 0,51 (46)	2,007 ± 0,046 (3)	2,35 ± 0,62 (34)	2,71 ± 0,62 (7)	1,7 ± 1 (13)
8:0	1,06 ± 0,22 (3)	1,18 ± 0,37 (23)	1,11 ± 0,45 (11)	1,21 ± 0,38 (50)	1,16 ± 0,18 (3)	1,32 ± 0,39 (35)	1,61 ± 0,35 (7)	0,95 ± 0,47 (13)
10:0	2,91 ± 0,36 (3)	2,53 ± 0,95 (27)	2,54 ± 0,76 (12)	2,69 ± 0,8 (52)	2,87 ± 0,41 (3)	2,76 ± 0,67 (37)	2,83 ± 0,84 (8)	2,36 ± 0,58 (15)
12:0	3,43 ± 0,34 (3)	3,1 ± 1 (27)	3,01 ± 0,8 (12)	3,19 ± 0,93 (52)	3,29 ± 0,24 (3)	3,14 ± 0,64 (37)	2,68 ± 0,81 (8)	2,89 ± 0,85 (15)
14:0	9,2 ± 1 (7)	9,9 ± 2,3 (28)	10,5 ± 2 (12)	10,4 ± 1,6 (53)	10,2 ± 1,8 (4)	10,2 ± 1,4 (38)	8,4 ± 1,6 (8)	9,7 ± 1,4 (15)
16:0	21,1 ± 2,5 (8)	24 ± 4 (30)	24,4 ± 4,2 (12)	25 ± 3,9 (53)	24,5 ± 3,7 (4)	24,5 ± 3,6 (39)	20,7 ± 6,4 (8)	24 ± 4,1 (15)

Variable	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines
18:0	13 ± 3,1 (4)	14,1 ± 3 (30)	12,2 ± 4,7 (12)	13,1 ± 2,1 (53)	12,2 ± 2,9 (4)	12,4 ± 2,1 (38)	15,4 ± 4,7 (8)	14,6 ± 3,6 (15)
<i>cis</i> 18:1	21,6 ± 2,2 (6)	26,5 ± 5,1 (26)	28,3 ± 6,3 (4)	25,2 ± 6 (19)	23,7 ± 4,6 (3)	22,6 ± 3,1 (20)	-	28,8 ± 5,2 (9)
18:1 9c	21,5 ± 2 (6)	25,3 ± 5,6 (21)	-	25,4 ± 7,2 (11)	-	21,6 ± 2,8 (11)	-	25,8 ± 7,8 (4)
<i>trans</i> 18:1	2,54 ± 0,77 (7)	3,2 ± 1,9 (24)	2,32 ± 1 (4)	2,22 ± 0,79 (18)	4,4 ± 2,6 (3)	4,1 ± 2,2 (20)	-	5,8 ± 2,4 (9)
18:1 11t	2,15 ± 0,77 (5)	2,1 ± 1,2 (15)	-	2,08 ± 0,67 (4)	-	2,6 ± 1,4 (10)	-	-
18:2	3,9 ± 1,7 (8)	3,3 ± 1,1 (30)	3,74 ± 0,88 (12)	2,7 ± 1,2 (53)	-	4,8 ± 1,7 (39)	15,3 ± 8,6 (8)	3,6 ± 1,4 (15)
LA	1,91 ± 0,57 (6)	2,36 ± 0,66 (19)	-	2 ± 1 (13)	-	3,93 ± 0,97 (11)	-	3,2 ± 0,87 (6)
18:3	2,5 ± 1,7 (8)	1,12 ± 0,36 (31)	1,42 ± 0,77 (12)	0,65 ± 0,22 (50)	-	0,89 ± 0,48 (34)	1,25 ± 0,54 (8)	0,7 ± 0,95 (11)
ALA	1,67 ± 0,33 (6)	1,08 ± 0,41 (17)	-	0,63 ± 0,31 (11)	-	0,73 ± 0,18 (10)	-	0,55 ± 0,24 (5)
CLA total	1,1 ± 0,37 (7)	1,02 ± 0,4 (20)	-	0,88 ± 0,54 (11)	-	1,07 ± 0,54 (15)	-	1,25 ± 0,48 (5)
AGS (4:0 à 24:0)	56,2 ± 4,7 (3)	60,8 ± 6,9 (20)	58 ± 5,8 (10)	62 ± 6,7 (42)	59,6 ± 9,9 (3)	60,7 ± 6 (34)	55,7 ± 8,9 (7)	58,3 ± 6,7 (9)
dont 12:0+14:0+16:0+18:0	47,1 ± 2,8 (3)	51,5 ± 5 (27)	50,1 ± 4,9 (12)	51,8 ± 4,9 (52)	50,9 ± 7,4 (3)	50 ± 5,7 (37)	47,2 ± 9,7 (8)	51,1 ± 4,7 (15)

Variable	Lin		Colza		Soja		Tournesol	
	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines	Protégé	Graines
AG trans totaux	2,7 ± 1,1 (7)	3,7 ± 2,5 (26)	-	2,3 ± 1,2 (20)	-	4,7 ± 2,7 (20)	-	5,4 ± 3,3 (11)
Dont 18:1 9t+10t+11t	-	2,4 ± 1,5 (9)	-	-	-	3,2 ± 1,5 (8)	-	3,8 ± 1,1 (4)

<sup>1</sup> huile encapsulée dans des protéines tannées, ou graine traitée au formaldéhyde (traitements permettant une protection partielle contre la biohydrogénation ruminale).

<sup>2</sup> autres formes de graines (cruie ou ayant subi un traitement technologique).

<sup>3</sup> moyenne ± SEM (nombre de lots étudiés) (seuls les cas où N>2 sont considérés).

<sup>4</sup> matière grasse du supplément, en g/j ou en % de la matière sèche ingérée.

<sup>5</sup> matière grasse totale de la ration.

**Tableau 21 : Effets<sup>(1)</sup> de la supplémentation en huiles ou graines oléagineuses sur la production laitière, le TB, la sécrétion de matières grasses et la composition en AG du lait de vache (revue de Chilliard et Ferlay, 2004).**

Supplément	Lin		Tournesol (riche en 18:2)		Soja			Colza	
	Huile <sup>(2)</sup>	Graine <sup>(3)</sup>	Huile <sup>(2)</sup>	Graine <sup>(4)</sup>	Huile <sup>(5)</sup>	Graine crue <sup>(6)</sup>	Graine extrudée <sup>(7)</sup>	Huile <sup>(8)</sup>	Graine <sup>(3)</sup>
Lipides alimentaires (%)	+3	+2,5	+3	+4,2	+2,3	+2,8	+1,8	+2,1	+2,3
Production laitière (kg/l)	+1,5	-1,7	+2,2	-2,5	+1,5	-0,3	-0,2	+0,8	-0,9
TB (g/g)	-3,3	+0,3	-4,8	-7,1	-0,9	-2,1	+0,6	-2,8	-1,9
Production de matière grasse (g/l)	-47	+30	-57	-259	+10	-40	+10	-70	-30
<b>AG du lait (% AG totaux)</b>									
4:0	-0,1	np <sup>(9)</sup>	-0,2	-1,2	+0,5	+0,3	+0,1	+0,4	nd
6:0 à 8:0	-0,8	-0,6	-0,9	-2,1	-0,4	-0,2	-0,4	-1,1	-0,9
10:0 à 14:0	-4,6	-3,2	-5,3	-8,6	-5,2	-3,7	-3,6	-2,7	-3,9
16:0	-9,6	-3,2	-9,9	-8,7	-5,1	-7,5	-5,4	-10,7	-4,0
18:0	+3,0	+3,8	+3,3	+4,1	+3,4	+0,8	+1,7	+4,0	+3,3
18:1	+7,1	+4,0	+9,2	+15,8	+6,3	+7,9	+4,6	+13,6	+5,7
18:1 9c	+4,0	nd	+5,2	(+9,7) <sup>(10)</sup>	np	np	+2,7	+10,6	nd
18:1 11t	+3,1	-0,4	+4,0	(+7,4) <sup>(10)</sup>	np	np	+1,4	+3,0	+0,02
LA	-0,1	-0,7	+0,4	+1,3	-1,0	+0,9	+1,9	-0,1	-0,8
ALA	+0,2	+0,8	-0,1	+0,3	-0,04	-0,1	+0,3	+0,3	+0,02
18:2 9c,11t-CLA	+1,2	-0,2	+1,6	nd	(+1,7) <sup>(11)</sup>	(-0,02) <sup>(12)</sup>	+0,5	+0,6	+0,01

<sup>(1)</sup> Différence entre les lots supplémentés et témoins. <sup>(2)</sup> 3 % d'huile. <sup>(3)</sup> 8,3 % de graines broyées (3,3 à 3,4 % d'huile). <sup>(4)</sup> 21 % de graines aplaties (9,8 % d'huile).

<sup>(5)</sup> 2,3 % d'huile. <sup>(6)</sup> 14,7 % de graines broyées (2,9 % d'huile). <sup>(7)</sup> 10,6 % de graines (2,1 % d'huile). <sup>(8)</sup> 3,3 % d'huile. <sup>(9)</sup> np, non précisé. <sup>(10)</sup> isomères cis ou trans totaux.

<sup>(11)</sup> 3,6 % d'huile. <sup>(12)</sup> 18 % de graines éclatées (3,6 % d'huile).

**Tableau 22 : Effet de la nature du fourrage et du supplément lipidique [huile de tournesol (HT) ou de lin (HL) en % MS ingérée] sur la production de lait, le TB et la composition en AG (% AG totaux) du lait de vache (d'après Chilliard *et al.*, 2007)<sup>1</sup>**

Fourrage	Huile <sup>2</sup>	Dose	Lait (kg/l)	TB (g/kg)	18:1 9c	LA	ALA	18:2 9c11t
Ensilage de maïs <sup>3</sup>	-	-	27,9	38,9	16,0	1,7	0,3	0,6
	HT	1,5	29,2	35,2	18,2	2,1	0,3	1,7
		3,0	30,2	31,9	20,4	2,2	0,3	2,5
	HL	1,5	30,2	36,9	17,5	1,7	0,5	1,4
		3,0	29,7	33,7	18,9	1,6	0,6	2,1
Ensilage d'herbe <sup>4</sup>	-	-	25,6	37,2	17,4	1,6	0,7	0,7
	HT	1,5	25,9	36,5	21,4	1,8	0,7	1,1
		3,0	27,7	34,6	23,4	2,0	0,6	1,9
	HL	1,5	27,1	36,6	21,0	1,6	0,9	1,0
		3,0	26,7	35,8	22,4	1,5	0,8	1,7

<sup>1</sup> 20 vaches dans 2 carrés latin 5x5 répliqués, avec des périodes de 3 semaines.

<sup>2</sup> HT riche en LA, HL riche en ALA.

<sup>3</sup> 47 % ensilage de maïs, 13 % foin de graminées, 40 % concentrés.

<sup>4</sup> 60 % ensilage d'herbe, 5 % foin de graminées, 35 % concentrés.

**Tableau 23 : Réponses des principaux AG du lait de vache en fonction de la teneur de la ration ingérée (MSI) en LA ou en ALA (Glasser *et al.*, 2008 a et b)**

AG du lait (Y en % AG totaux)	Réponse à 18:2 (X en g/kg MSI) <sup>a</sup>	Réponse à 18:3 (X en g/kg MSI) <sup>b</sup>
4:0-14:0	32,6(±0,8) -0,37(±0,04) X (N=37, R <sup>2</sup> =0,94)	29,3(±0,7) -0,38(±0,04) X (N=21, R <sup>2</sup> =0,96)
16:0	33,0(±0,7) -0,41(±0,03) X (N=37, R <sup>2</sup> =0,94)	33,1(±0,7) -0,41(±0,04) X (N=21, R <sup>2</sup> =0,95)
18:0	8,03(±0,51) + 0,21(±0,02) X (N=37, R <sup>2</sup> =0,90)	9,6(±0,9) + 0,19(±0,05) X (N=21, R <sup>2</sup> =0,80)
cis 18:1	18,7(±2,4) + 0,29(±0,10) X (N=19, R <sup>2</sup> =0,65)	18,4(±1,2) + 0,32(±0,06) X (N=15, R <sup>2</sup> =0,87)
18:2 total <sup>c</sup>	2,0 (±1,5) + 0,25(±0,05) X : protégés + 0,06(±0,05, NS) X : non protégés (N= 37, R <sup>2</sup> =0,93)	2,3 (±1,0) + 0,12(±0,05) X (N= 21, R <sup>2</sup> =0,71)
LA	1,2 (±4,7) + 0,13 (±0,19, NS) X (N=10, R <sup>2</sup> =0,34)	2,1(±0,2) + 0,0024 (±0,013, NS) X (N=15, R <sup>2</sup> =0,57)
18:3 total	0,58 (±0,13) + 0,0088(±0,0072, NS) X (N= 31, R <sup>2</sup> =0,90)	0,52 (±0,13) + 0,021(±0,007) X (N= 21, R <sup>2</sup> =0,54)
trans 18:1	0,99(±1,38) + 0,18(±0,06) X (N=21, R <sup>2</sup> =0,65)	0,8(±1,0) + 0,20(±0,05) X (N=19, R <sup>2</sup> =0,73)
18:1 11t	1,7 (±1,0) + 0,05(±0,05, NS) X (N= 9, R <sup>2</sup> =0,50)	1,1 (±0,5) + 0,05(±0,03, NS) X (N= 15, R <sup>2</sup> =0,54)

AG du lait (Y en % AG totaux)	Réponse à 18:2 (X en g/kg MSI) <sup>a</sup>	Réponse à 18:3 (X en g/kg MSI) <sup>b</sup>
18:2 9c,11t	0,89 (±0,12) + 0,0084(±0,0059, NS) X (N= 6, R <sup>2</sup> =0,96)	0,68 (±0,23) + 0,022(±0,014, NS) X (N= 15, R <sup>2</sup> =0,51)

<sup>a</sup> comparaisons intra-expérience pour des lots de vaches dont l'ingestion de 18:2 varie fortement, alors que celle de 18:3 varie peu.

<sup>b</sup> comparaisons intra-expérience pour des lots de vaches dont l'ingestion de 18:3 varie fortement, alors que celle de 18:2 varie peu.

<sup>c</sup> dont isomères trans non conjugués (et, parfois, conjugués).

NS = coefficient non significativement différent de zéro, P<0,05.

#### 1.1.3.4.1. AG saturés et acide oléique

Le potentiel de diminution des AGS, en particulier de 10:0 à 16:0, est considérable : les AGS totaux sont en moyenne plus faibles de 5 à 16 points lors de suppléments lipidiques (tableau 18) et les AG de 10:0 à 16:0 diminuent de 56 à 29 % des AG totaux (- 27 points) après addition de 5 % d'huile de lin à une ration à base de foin (Roy *et al.*, 2006). Inversement, avec des suppléments lipidiques riches en AG à chaîne moyenne, les teneurs en ces AG sont augmentées dans le lait. C'est le cas des savons de calcium d'huile de palme qui sont probablement les plus utilisés actuellement en élevage laitier sur le terrain et qui accroissent la teneur en acide palmitique (+ 2,1 % des AG totaux pour un apport moyen de 770 g/j dans 6 essais ; Chilliard *et al.*, 1993). De plus, un apport de 476 g/j d'AG extraits d'huile de palme (87 % de 16:0) accroît considérablement (+ 8,4 % des AG totaux) la teneur en 16:0 du lait (Mosley *et al.*, 2007).

Contrairement aux AG à chaîne moyenne, les teneurs en AG à courte chaîne (4:0, 6:0 et 8:0 dans une moindre mesure) ne sont généralement que peu ou pas diminuées par des infusions duodénales d'huiles végétales ou de poisson (Chilliard *et al.*, 2000) ou par la mobilisation des lipides corporels (Chilliard *et al.*, 1991 b). Toutefois, un apport accru de lipides insaturés dans la ration diminue dans une certaine mesure les teneurs en 4:0, 6:0 et 8:0 (Chilliard et Ferlay, 2004 ; tableaux 18 et 21), probablement en raison d'un effet antilipogénique plus important des AG *trans* formés dans le rumen. Parmi les 8 types d'apports d'huiles oléagineuses du tableau 18, les plus faibles valeurs de 6:0 à 16:0 sont observées avec les huiles de tournesol et, surtout, de lin.

Les teneurs en AG impairs et ramifiés sont diminuées par la supplémentation en LA ou ALA et accrues par la supplémentation en huile de poisson qui diminue les AG pairs *iso* mais augmente plus fortement l'*iso* 17:0, probablement en raison d'effets spécifiques sur la digestion ruminale des fibres végétales (Vlaeminck *et al.*, 2006).

La sécrétion de 18:0 dans le lait peut être accrue soit par un apport de 18:0 alimentaire, soit par l'apport d'AG insaturés à 18 atomes de carbone (Collomb *et al.*, 2004 ; Gonthier *et al.*, 2005 ; Loor *et al.*, 2005 a ; tableaux 18 et 21) en raison de leur hydrogénation totale ou partielle en 18:0 dans le rumen (Loor *et al.*, 2004 et 2005 c). Il en est de même pour le 18:1 9c (tableau 19), en raison soit de sa sécrétion directe (environ 20 %), soit de sa synthèse (environ 80 %) par action de la désaturase mammaire sur le 18:0 (Glasser *et al.*, 2007).

Parmi les facteurs alimentaires augmentant les teneurs en 18:0 et 18:1 9c du lait, la supplémentation en suif (graisses corporelles de ruminants, riches en 16:0, 18:0 et *cis* 18:1) a été largement étudiée (Chilliard *et al.*, 2001 a). Elle diminue fortement les teneurs en AGS. Toutefois, la plupart de ces suppléments est maintenant très peu utilisée en Europe suite à la crise de l'ESB. On peut aussi accroître la sécrétion de 18:1 9c du lait par la distribution d'oléamide (Jenkins, 1998) ou d'huiles ou graines végétales riches en 18:1 9c (tournesol oléique, colza) et efficacement protégées de l'hydrogénation ruminale. Toutefois, le colza protégé ne semble permettre, par rapport à la graine, qu'une augmentation modeste des *cis* 18:1 (tableau 20).

La distribution d'huiles végétales non protégées, riches en acide oléique, LA ou ALA, ou de graines végétales accroît fortement les proportions du 18:0 et 18:1 9c du lait (tableaux 18,

19 et 21). Ainsi, la distribution d'huile de tournesol ou de lin (1,5 % à 3 % de la ration) permet de multiplier, de façon dose-dépendante, par 1,18 à 1,35 la teneur en 18:1 9c du lait (tableau 22). Des réponses similaires et variables du 18:1 9c ou des *cis* 18:1 sont aussi observées avec de l'huile de colza (x 1,33-1,67), des graines de colza (x 1,92), de l'huile de tournesol oléique (x 1,27), de l'huile de soja (x 1,22), des graines de soja extrudées (x 1,17), de l'huile de lin (x 1,26-1,80) ou des graines de lin (x 1,22) (Dewhurst *et al.*, 2006 ; Givens et Shingfield, 2006). Ces résultats issus de quelques comparaisons directes sont confirmés par les nombreuses comparaisons indirectes du tableau 19 montrant des réponses de x 1,14 à x 1,37 pour les huit types d'huiles et de graines étudiées. Toutefois, la distribution d'huiles végétales non protégées entraîne aussi un accroissement de la production de 18:1 *trans* dans le rumen et dans le lait, en particulier avec les huiles riches en AGPI. On peut aussi noter que la graine de colza augmente un peu les teneurs en 19:0, 20:0, 20:1 et 22:1 dans le lait (tableau 18).

Les réponses des AGS et des *cis* 18:1 à l'enrichissement des rations en LA ou en ALA sont estimées dans le tableau 23. On observe que les pentes des droites de régression (accroissement du pourcentage de l'AG du lait lorsque l'AGPI alimentaire augmente de 1 g/kg de MSI) sont très voisines pour le LA ou l'ALA), que ce soit pour les 4:0-14:0 (- 0,37 à 0,38), le 16:0 (- 0,41), le 18:0 (+ 0,19 à 0,21) ou les *cis* 18:1 (+ 0,29 à 0,32).

Par contre, l'ingestion d'huile de poisson ne modifie pas ou beaucoup moins nettement que celle d'huiles oléagineuses, les teneurs en 4:0-16:0 mais elle diminue très fortement celles en 18:0 et 18:1 9c (Chilliard *et al.*, 2001 a ; Givens et Shingfield, 2006 ; tableaux 18 et 19) du fait de l'inhibition de la dernière étape de la biohydrogénation ruminale, entraînant une forte production de 18:1 11*t*.

#### 1.1.3.4.2. AG polyinsaturés

##### Acide linoléique

Avec la plupart des rations non supplémentées en lipides, la proportion de LA dans les AG du lait est généralement comprise entre 2 et 3 %. Lorsque les rations sont enrichies en graines ou huiles riches en LA comme celles de soja ou de tournesol, ce pourcentage ne dépasse pas 3 % à 4 %, l'accroissement par rapport au régime témoin étant rarement supérieur à 1,5 % (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Dewhurst *et al.*, 2006 et tableaux 19 et 21). Toutefois, des réponses plus élevées ont été observées avec des graines de soja extrudées (+ 1,9 g/100 g d'AG ; AbuGhazaleh *et al.*, 2002), micronisées (+ 2,4 g/100 g d'AG ; Petit, 2002) ou toastées (+ 3,0 g/100 g d'AG ; Dhiman *et al.*, 1995).

Il est souvent dit qu'un moyen de limiter l'hydrogénation ruminale est la distribution des lipides sous forme de graine plutôt que d'huile car l'enveloppe et/ou la structure des graines limiterait l'accessibilité des lipides aux bactéries. Ainsi, la supplémentation en graines de soja crues ou traitées ne diminue pas la sécrétion des lipides du lait de vache (tableau 17) et elle accroît plus fortement que l'huile leurs teneurs en LA (tableaux 19 et 21). En outre, les réponses du TB (tableau 17) et du LA du lait suggèrent que les enveloppes de la graine de colza protègent moins l'huile que celles des graines de soja ou de tournesol (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Givens et Shingfield, 2006 ; tableau 19). Finalement, des graines crues de soja ou de colza, ajoutées à une ration à base d'ensilage de maïs induisent la même diminution du TB du lait et de la sécrétion des 4:0-16:0 que l'huile distribuée en mélange avec le tourteau correspondant (Doreau et Chilliard, 1999). Des recherches supplémentaires sont nécessaire pour confirmer ces tendances car il n'existe que peu de comparaisons directes entre huile et graine.

Des comparaisons directes ont montré que la graine de soja extrudée augmente moins le LA du lait que la graine crue ou micronisée (Chouinard *et al.*, 1997 a et b), probablement parce que l'extrusion facilite la libération de l'huile par les structures végétales, et donc leur biohydrogénation ruminale. Toutefois, des résultats opposés ont été obtenus pour les

graines de tournesol (McGuffey et Schingoethe, 1982) et de colza (McNamee *et al.*, 2002) pour lesquelles l'extrusion a augmenté le LA du lait.

Les suppléments lipidiques peuvent être largement protégés de la dégradation dans le rumen, par encapsulation des lipides dans une coque de protéines tannées. Des proportions de 15 à 20 % de LA dans les AG du lait ont été atteintes avec des suppléments d'huiles de soja, colza, coton, carthame ou tournesol encapsulées (McDonald et Scott, 1977). Toutefois, les résultats disponibles dans la base de données (Glasser *et al.*, 2008 a et b) montrent des résultats variables (tournesol) ou modestes (colza) (tableau 20). Les limites pratiques de cette technique de protection ont été exposées précédemment.

Les réponses du LA et du 18:2 « total » à l'enrichissement des rations soit en LA, soit en ALA sont estimées dans le tableau 23. Les pentes des droites de régression (accroissement du pourcentage de l'AG du lait lorsque le LA alimentaire augmente de 1 g/kg de MSI) sont non significatives avec les lipides non protégés et de 0,25 lorsqu'ils sont protégés. On ne peut toutefois pas exclure qu'une partie de la réponse du 18:2 « total » soit due à des isomères *trans* produits dans le rumen.

#### Acide alpha-linolénique et AG de la série n-3

En Europe, mis à part les fourrages, seule la graine de lin permet des apports importants d'ALA qui représente plus de 50 % des AG de cette graine. A titre de comparaison, une vache consommant 20 kg de MS par jour peut ingérer quotidiennement jusqu'à 400 g d'ALA sur pâturage de printemps ou d'automne et la même quantité si elle reçoit une ration hivernale additionnée de 3,7 % d'huile de lin (ou de 12 % de graine de lin).

En supplémentant la ration des vaches en graine ou en huile de lin, Kennelly (1996) a observé un accroissement de la teneur en ALA du lait de + 0,6 % des AG totaux. D'autres auteurs n'ont pas trouvé d'accroissement (Kelly *et al.*, 1998) ou des accroissements de l'ordre de 0,3 % (Brunschwig *et al.*, 1996 et 1997 ; tableaux 18 et 19). Six études récentes confirment une plage de réponse similaire (0,3 à 0,9 %) (Petit, 2002 ; Collomb *et al.*, 2004 ; Gonthier *et al.*, 2005 ; Looor *et al.*, 2005 a ; Bell *et al.*, 2006 ; Roy *et al.*, 2006) et les 21 études de la base de données (Glasser *et al.*, 2008 a et b) indiquent une réponse moyenne de +0,5 % des AG totaux. Par ailleurs, l'augmentation de 0 à 1,5 ou à 3 % de l'apport d'huile de lin dans la ration ne permet pas une augmentation de l'ALA du lait, proportionnelle à la quantité ingérée par les vaches (Chilliard et Ferlay, 2004). L'ensemble de ces résultats suggère donc que la graine de lin n'augmente pas plus que l'huile la teneur en ALA du lait ce qui a été confirmé par une comparaison directe graine crue vs huile (Martin et Chilliard, 2004).

L'ingestion de graine de lin extrudée représentant de 200-460 g/j d'ALA (Weill *et al.*, 2002 ; Gonthier *et al.*, 2005 ; Pontier *et al.*, 2006 ; Akraim *et al.*, 2007) ou l'ingestion d'un mélange de graines de lin et de colza extrudées (Focant *et al.*, 1998) augmentent l'ALA du lait de 0,3-0,9 g/100 g d'AG (Focant *et al.*, 1998 ; Weill *et al.*, 2002), ce qui est comparable à l'augmentation observée avec de l'huile ou des graines non traitées mais plus faible que celle observée chez des vaches pâturant une herbe de bonne qualité.

Comme avec les suppléments d'huiles riches en LA, la protection de l'huile de lin par encapsulation par une coque de protéines tannées garantit une teneur élevée en ALA dans le lait. Par exemple, avec un supplément de 410 g d'huile de lin protégée par jour, une proportion de 6,4 % d'ALA a été atteinte dans le lait (Goodridge et Ingalls, 1998). Le simple traitement au formaldéhyde de la graine de lin ne permet toutefois pas d'accroître plus la teneur en ALA du lait que la graine crue (Petit *et al.*, 2002 ; Petit, 2003), ce qui explique les résultats modestes observés dans le tableau 20. On observe toutefois que la supplémentation en graine de lin « protégée » par tannage permet de diminuer simultanément les AGS, les AG *trans* et le rapport LA/ALA, par rapport aux autres formes de graine de lin (tableau 20).

La graine de colza contient quant à elle une quantité notable d'ALA (environ 7 % des AG totaux) dont une partie est susceptible d'être sécrétée dans le lait. Toutefois, comme pour le LA, l'apport de graine ou d'huile de colza non protégée ne permet pas d'accroître significativement l'ALA du lait (tableaux 18 et 21), soit en raison de leurs teneurs plus faibles en ALA que le lin, soit en raison d'une plus forte biohydrogénation ruminale (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Givens et Shingfield, 2006). Par contre la graine de soja, dont les lipides contiennent environ 8 % d'ALA permet d'accroître l'ALA du lait, +0,3 g/100 g d'AG (tableau 19) voire 0,6-0,7 g/100g AG lorsqu'elles sont toastées (Dhiman *et al.*, 1995) ou micronisées (Petit, 2002).

Les réponses du 18:3 « total » à l'enrichissement des rations soit en LA, soit en ALA sont estimées dans le tableau 23 : la pente de la droite de régression (accroissement du pourcentage de l'AG du lait lorsque l'ALA alimentaire augmente de 1 g/kg de MSI) est significative mais très faible (+0,021).

La sécrétion des AG de la série n-3 à 20 et 22 atomes de carbone (EPA, DPA et DHA) peut être accrue lorsqu'on apporte des huiles marines (de poissons ou d'algues) dans la ration des vaches. L'efficacité du transfert de la ration au lait est cependant faible (2,6 % pour l'EPA et 4,1 % pour le DHA) en raison de fortes hydrogénations ruminales, en particulier pour l'EPA (Chilliard *et al.*, 2001 a). Des efficacités de transfert supérieures, comprises entre 16 % et 33 %, sont en effet observées lors d'infusions post-ruminales d'huile de poisson. L'accroissement de la teneur des AG du lait en EPA + DHA est donc faible lorsqu'on ajoute de l'huile de poisson dans la ration des vaches et ne dépasse que rarement 0,5 % des AG totaux (Chilliard *et al.*, 2001 a ; Givens et Shingfield, 2006 ; tableau 18). On note aussi des accroissements modestes de nombreux AG de 18:4 à 24:1 (tableau 18) dont une partie provient sans doute de la biohydrogénation ruminale partielle des AGPI marins ingérés.

Alors que la supplémentation en huile de lin augmente la teneur du lait en ALA, elle diminue ou tend à diminuer les teneurs en EPA et DHA (Loor *et al.*, 2005 a), confirmant que l'ALA n'est pas allongé en EPA, et suggérant qu'il pourrait même limiter la sécrétion d'EPA et DHA par la glande mammaire bovine.

#### 1.1.3.4.3. AG *trans* et acide linoléique conjugué (CLA)

Les facteurs alimentaires influençant la composition des laits en CLA et en *trans* 18:1 se répartissent en 2 catégories principales :

- 1) les régimes apportant des précurseurs lipidiques (LA ou ALA) pour la formation de CLA et *in fine* de *trans* 18:1 dans le rumen,
- 2) les régimes modifiant l'activité microbienne associée à l'hydrogénation ruminale des AGPI.

Les combinaisons entre ces différents facteurs induisent de très larges variations des teneurs du lait en CLA et en *trans* 18:1, jusqu'à 4 à 5 % de 18:2 9*c*,11*t* et 10 à 12 % de 18:1 11*t* (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Bell *et al.*, 2006). Il existe de fortes interactions entre fourrages, concentrés amyloacés et suppléments lipidiques (cf. *infra*).

Les huiles végétales riches en LA (tournesol, soja) ou ALA (lin) augmentent fortement la teneur en CLA du lait (tableau 19). Cet effet est linéaire lors d'addition de quantités croissantes d'huile à la ration ; au moins jusqu'à 3-4 % de la MS avec une réponse d'environ 0,4 point par point d'augmentation de la teneur en lipides de la ration pour le soja (Chilliard *et al.*, 2000), comme pour le tournesol ou le lin (Chilliard et Ferlay, 2004 ; tableau 22). L'huile de lin augmente donc presque autant la teneur en CLA que les huiles de tournesol ou de carthame (riches en LA) (Chilliard *et al.*, 2000 ; Bell *et al.*, 2006 ; tableau 22). Cet effet s'explique par une forte augmentation de la production de 18:1 11*t* dans le rumen qui est

ensuite prélevé par la mamelle et désaturé en 18:2 9c,11t par la delta-9 désaturase. Par contre, une huile riche en 18:1 9c (olive, colza,...) n'augmente que plus faiblement la sécrétion de 18:2 9c,11t (Secchiari *et al.*, 2003 ; Collomb *et al.*, 2004 ; tableau 19). Cette augmentation résulte probablement d'une isomérisation du 18:1 9c en 18:1 11t dans le rumen (Mosley *et al.*, 2002). Les coefficients de réponse de 18:1 11t et 18:2 9c,11t calculés dans le tableau 23 sont peu significatifs, en raison du faible nombre de données disponibles et/ou de la grande dispersion des valeurs observées entre expérimentations différentes.

L'addition de savons de calcium de colza dans la ration augmente la teneur en 18:2 9c,11t du lait (Chouinard *et al.*, 2001). Ceci confirme que les AGPI des savons de calcium sont partiellement hydrogénés. De manière générale, les huiles végétales élèvent plus le taux de CLA dans le lait que les graines extrudées et elles-mêmes plus fortement que les graines crues (Chouinard *et al.*, 1997 a, b et 2001 ; Chilliard et Ferlay, 2004 ; tableau 19). Ceci reflète un effet plus important lorsque les AGPI modifient plus largement le métabolisme ruminal, en accord avec les effets respectifs des huiles et des graines sur le 18:0 et les *trans* 18:1 du lait (tableaux 18, 19 et 21 et Bayourthe *et al.*, 2000). En effet, les graines diminuent moins la sécrétion lipidique mammaire (tableau 17) et accroissent plus fortement la teneur en 18:0 du lait et moins fortement celle en *trans* 18:1 lorsqu'on les compare aux huiles correspondantes. Il semble donc que l'hydrogénation soit plus complète (bien que concernant parfois un pourcentage un peu plus faible des AGPI apportés) lorsque les lipides sont apportés dans les graines (Chilliard et Ferlay, 2004), probablement parce qu'une libération progressive perturbe moins l'écosystème ruminal qu'un apport d'huile en 2 repas par jour (Morales *et al.*, 2000). L'effet de l'huile sur les *trans* 18:1 est en effet fortement réduit lorsque l'apport est fractionné en 24 repas par jour (Banks *et al.*, 1980). Les lipides protégés étudiés dans le tableau 20 ne le sont probablement qu'en partie car ils ne réduisent généralement pas les teneurs en AG *trans* du lait, par rapport aux effets des graines non protégées. Il n'est pas possible de confirmer cette hypothèse *a contrario* dans le cas de l'huile de tournesol bien protégée car ces études anciennes n'avaient pas déterminé les AG *trans*.

La teneur en CLA du lait produit au pâturage (en zone de plaine) est encore accrue par des suppléments lipidiques (Chilliard *et al.*, 2002). Des teneurs de 2,5 à 3,6 % des AG totaux sont observées, par exemple, lors de la distribution de 3,1 kg/j de graine de soja (Lawless *et al.*, 1998) ou 0,32 kg/j d'huile de poisson (Rego *et al.*, 2005).

Pour une quantité d'huile similaire distribuée, les huiles de poisson augmentent beaucoup plus fortement que les huiles végétales la teneur en 18:2 9c,11t du lait (Loor *et al.*, 2005 b et d ; tableau 19). Ainsi, les proportions de CLA passent de 0,2-0,6 % avec le régime témoin à 1,5-2,7 % avec des régimes supplémentés en huile de poisson (200-300 g/j ; Chilliard *et al.*, 2001 b ; Givens et Shingfield, 2006 ; tableau 19). Il est probable que l'EPA et le DHA de ces huiles augmentent la concentration de 18:1 11t dans le rumen, par inhibition de la réduction de cet AG en 18:0. Ceci expliquerait que la combinaison d'huiles végétales et d'huile de poisson augmente fortement la teneur en CLA du lait (Palmquist et Griinari, 2006).

Une relation linéaire existe entre les concentrations du CLA et du 18:1 11t dans le lait pour une grande diversité de régimes alimentaires (Chilliard *et al.*, 2000). Cependant, le rapport CLA/ 18:1 11t est plus faible avec l'huile de poisson (Chilliard *et al.*, 2001 b). Dans ce cas, il est possible que la teneur très élevée en 18:1 11t dépasse la capacité de désaturation de la mamelle ou que des AG spécifiques de l'huile de poisson (EPA, DHA ou des composés intermédiaires d'hydrogénation) inhibent l'activité de la  $\Delta 9$  désaturase.

Il n'y a que peu de données sur l'influence de l'alimentation sur les différents isomères *trans* 18:1 et 18:2 (conjugués ou non) du lait (tableau 19). La teneur en 18:2 9c,11t est généralement celle qui varie le plus, en raison de l'importance de sa synthèse mammaire par la  $\Delta 9$  désaturase. Toutefois, un niveau élevé de 18:1 9c alimentaire accroît notamment les

6/7/8*t*-18:1 et 18:2 7*t*,9*c* du lait (Secchiari *et al.*, 2003 ; Collomb *et al.*, 2004) ; une ingestion de LA accroît les isomères 6/7/8*t*, 9*t*, 10*t* et 12*t* du 18:1 ainsi que les isomères 10*t*,12*t*, 9*t*,11*t*, 8*t*,10*t*, 7*t*,9*t*, 10*t*,12*c*, 9*t*,11*c*, 8*t*,10*c* et 7*t*,9*c* du 18:2 (Collomb *et al.*, 2004 ; Loor *et al.*, 2005 b ; Roy *et al.*, 2006 et Figure 8). L'ALA augmente les isomères 15*c*, 13*t*/14*t*, 15*t* et 16*t* du 18:1, les isomères 9*c*,12*t*, 9*c*,13*t*, 11*t*,15*c*, 9*t*,11*t*, 12*t*,14*t*, 11*t*,13*t*, 12*c*,14*t*, 12*t*,14*c*, 11*t*,13*c*, 11*c*,13*t* du 18:2 (Collomb *et al.*, 2004 ; Loor *et al.*, 2005 a ; Roy *et al.*, 2006) ainsi que certains isomères conjugués du 18:3 (Destailats *et al.*, 2005 ; Akraim *et al.*, 2007).

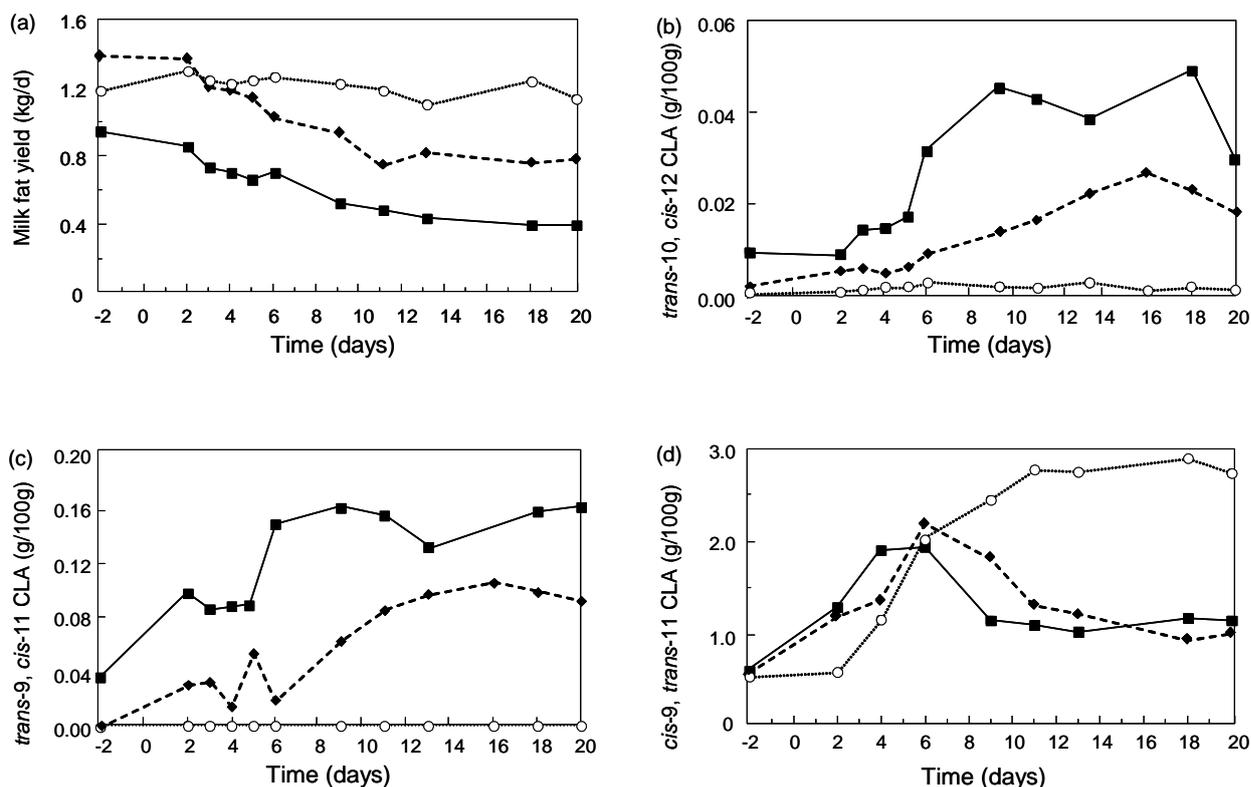


Figure 8 : Effets du régime de base et de la supplémentation en huile végétale sur la sécrétion de matières grasses du lait (a), et sur leur teneur (g/100 g AG totaux) en 10*t*,12*c* (b), 9*t*,11*c* (c) et 9*c*,11*t* (d) chez la vache recevant un régime "concentré-tournesol" (ligne continue), "ensilage de maïs-tournesol" (ligne en tirets) ou "foin-lin" (ligne pointillée) (adapté d'après Roy *et al.*, 2006).

Ces effets sur les différents isomères *trans* sont plus marqués avec les huiles qu'avec les graines (tableau 19) et s'expliquent par la biohydrogénation ruminale partielle des AG alimentaires, combinée à la  $\Delta 9$  désaturation mammaire des isomères 7*t*, 12*t* et 13*t* du 18:1 notamment. Par ailleurs, l'huile de poisson accroît les isomères 11*c*, 6/7/8*t*, 9*t*, 10*t*, 12*t*, 13*t*/14*t* du 18:1 et 11*t*,15*c* du 18:2 (Shingfield *et al.*, 2003 ; Loor *et al.*, 2005 b,d). Les rôles physiologiques respectifs de ces différents isomères et leur éventuel impact nutritionnel chez l'Homme n'ont pas ou très peu été étudiés à ce jour.

#### 1.1.3.5. Interactions entre l'apport de lipides et les autres constituants de la ration (pourcentage de concentré et nature des fourrages)

Outre les effets du type de lipides alimentaires (graisses animales, huiles végétales ou marines), de leur forme de présentation et de la quantité distribuée, il existe de fortes interactions avec la nature des fourrages et le rapport fourrage/concentré de la ration (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Chilliard *et al.*, 2007 ; Dewhurst *et al.*, 2006).

La supplémentation en huile de lin interagit significativement avec le rapport fourrage/concentré de la ration, soit en augmentant plus fortement les teneurs du lait en 18:1 10*t*, 18:2 11*t*, 15*c* et ALA avec un régime riche en concentré, soit en augmentant davantage les 18:0 et 18:1 9*c* et en diminuant surtout le 16:0 avec un régime riche en foin (Loor *et al.*, 2005 a). Une comparaison indirecte suggère que l'huile de tournesol serait plus efficace que l'huile de soja pour accroître le 18:1 10*t* du lait lorsqu'on l'ajoute au même régime riche en concentré (Piperova *et al.*, 2000 ; Roy *et al.*, 2006) alors qu'une comparaison directe montre que l'huile de lin est moins efficace que ne l'est l'huile de tournesol (Loor *et al.*, 2005 b).

Dans une autre étude sur les huiles de lin et de tournesol (Chilliard et Ferlay, 2004 et tableau 22), le 18:1 9*c* du lait augmente plus fortement lorsque la ration est basée sur de l'ensilage d'herbe en comparaison avec de l'ensilage de maïs (+4,7 contre 2,8 g/100 g d'AG) alors que l'inverse est observé pour le 18:2 9*c*, 11*t* (+0,7 contre 1,3 g/100 g d'AG) et les AGPI (par exemple, +0,3 contre 0,45 g/100 g d'AG pour la réponse du LA à l'huile de tournesol). La biohydrogénation ruminale semble donc être moins complète avec l'ensilage de maïs, en raison probablement d'un pH ruminal plus faible et/ou d'une modification de la population microbienne, et elle semble liée à une chute plus nette du TB du lait avec le régime ensilage de maïs supplémenté en huiles (tableau 22). Cette observation est de plus en accord avec des observations antérieures montrant que la supplémentation par des graines de colza ou de soja ou du suif diminuait le TB du lait avec des rations à base d'ensilage de maïs ainsi que les sécrétions de 4:0-16:0 (Doreau et Chilliard, 1999) mais en augmentant la teneur en 18:1 10*t* du lait (Onetti *et al.*, 2001) et en diminuant la digestibilité des parois végétales (Doreau *et al.*, 1991).

L'effet du type de fourrage a aussi été observé avec une supplémentation par un mélange d'huiles de tournesol et de poisson : le remplacement de l'ensilage d'herbe par de l'ensilage de maïs accroît les 12:0, 14:0, 18:1 10*t*, 18:2 9*t*, 11*c*, EPA et DHA et diminue les 18:0, 18:1 9*c*, 18:1 15*t*, 18:1 16*t*, *trans* 18:2 et ALA ; alors que l'augmentation du rapport fourrage/concentré de la ration augmente les 18:1 10*t*, 18:2 9*t*, 11*c* et 18:2 10*t*, 12*c*, LA, EPA, DHA et diminue le 18:2 9*c*, 11*t*, les autres CLA ayant une double liaison en *trans*-11 et l'ALA avec les deux types d'ensilages (Shingfield *et al.*, 2005 a). Par ailleurs, chez des vaches recevant des tourteaux gras de colza, le remplacement de l'ensilage d'herbe par du maïs diminue le TB du lait, augmente les teneurs en 18:1 9*c*, 18:1 10*t* (+ 4,0 g/100 g d'AG), les isomères 9*c*, 11*t* et 10*t*, 12*c* du 18:2, le LA et diminue les 4:0-16:0, 18:0 et l'ALA. Ces effets sont plus marqués pour les 18:1 10*t* et 18:2 10*t*, 12*c* lorsque la ration est plus riche en concentré ou en amidon (Nielsen *et al.*, 2006). Ceci montre, à nouveau, que l'ensilage de maïs limite l'ampleur de la biohydrogénation des AGPI.

Une constante des essais rapportés ci-dessus est l'augmentation de la teneur du lait en 18:1 10*t* avec les régimes riches soit en concentré, soit en ensilage de maïs, supplémentés en AGPI (tableau 24). Or, ces régimes diminuent fortement le TB du lait et s'accompagnent aussi d'augmentations faibles mais significatives de sa teneur en 18:2 10*t*, 12*c* (Bauman et Griinari, 2003 ; Roy *et al.*, 2006 et figure 8), en accord avec les observations (cf. chapitre B) montrant que le 18:2 10*t*, 12*c* est accru lorsque la biohydrogénation ruminale est modifiée par les régimes pauvres en fibres et qu'il serait un précurseur du 18:1 10*t* dans le rumen. Une conséquence importante de ces modifications est que les synthèses des 18:1 11*t* et 18:2 9*c*, 11*t* n'augmentent que faiblement (déviation vers le 18:1 10*t* ou « *trans*11- to *trans*10-shift ») par rapport à ce qui s'observe avec des régimes riches en fibres supplémentés en huiles où le 18:1 11*t* est l'intermédiaire majeur de la biohydrogénation ruminale (Griinari *et al.*, 1998 et tableau 24).

**Tableau 24 : Teneurs en AG du lait de vaches recevant une ration riche en ensilage de maïs ou riche en concentrés, et supplémentée en oléagineux\* (Glasser *et al.*, 2008 a et b).**

Variable**	Ensilage de Maïs >40 % MSI		Concentrés > 60 % MSI	
Fourrage % MSI	57,1 ± 7,5	[42 - 72,27], n=47	37 ± 3,4	[25 - 40], n=24
Maïs % MSI	50,5 ± 8,8	[40 - 71,36], n=47	5 ± 11	[0 - 37,08], n=24
MSI	17,8 ± 2,6	[11,2 - 23,0], n=47	18,4 ± 4	[13,7 - 28,8], n=18
MG sup (g/l)	707 ± 323	[348 - 1970], n=25	819 ± 412	[305 - 1632], n=14
MG sup (%MSI)	4,2 ± 2,1	[2,1 - 13,0], n=25	4,7 ± 2,4	[1,2 - 9,6], n=14
MG tot. (%MSI)	6,4 ± 0,9	[5,2 - 8,35], n=22	6,0 ± 0,9	[4,4 - 7,4], n=14
AG tot (% MSI)	5,9 ± 0,9	[4,1 - 8,0], n=30	5,4 ± 1,00	[4,5 - 7,0], n=8
<b>AG lait (% AG totaux)</b>				
AGS	59,6 ± 6,9	[42,4 - 70,1], n=39	55,5 ± 5,3	[49,7 - 65,6], n=16
12:0 à 18:0	50,2 ± 6	[34,65 - 63,75], n=47	47,5 ± 5,9	[38,8 - 60,6], n=17
12:0	2,9 ± 0,9	[1,4 - 5,5], n=47	2,6 ± 0,6	[1,9 - 4,5], n=17
14:0	9,7 ± 1,7	[5,9 - 13,5], n=47	10 ± 1,6	[7,6 - 13,2], n=24
16:0	24,4 ± 3,8	[15,9 - 35,5], n=47	23 ± 4,1	[16,3 - 33,9], n=24
18:0	13,2 ± 2,3	[4,7 - 17,4], n=47	11,9 ± 3,2	[5,5 - 18,5], n=24
<i>cis</i> AGMI	26,5 ± 5,9	[16,7 - 42,15], n=28	23,8 ± 4,8	[17,0 - 33,3], n=12
AG <i>trans</i> totaux	6,9 ± 5,2	[1,4 - 26,3], n=28	13,9 ± 8,8	[1,3 - 24,35], n=11
CLA total	0,99 ± 0,67	[0,27 - 3,43], n=21	2,06 ± 0,87	[0,84 - 3,031], n=7
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,96 ± 0,69	[0,27 - 3,00], n=15	1,67 ± 0,8	[0,54 - 2,74], n=7
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,025 ± 0,0085	[0,017 - 0,034], n=3	0,055 ± 0,052	[0,013 - 0,14], n=6
18:1 9 <i>t</i>	0,52 ± 0,33	[0,18 - 0,97], n=4	0,77 ± 0,17	[0,56 - 0,96], n=6
18:1 10 <i>t</i>	3,8 ± 2,7	[0,25 - 7,8], n=6	6,8 ± 4,1	[1,65 - 12,7], n=6
18:1 11 <i>t</i>	2,9 ± 2,1	[1,0 - 8,0], n=12	3,9 ± 1,6	[1,3 - 5,4], n=8
LA	2,35 ± 0,9	[1,3 - 3,9], n=15	3,3 ± 1,8	[1,6 - 6,6], n=7
ALA	0,49 ± 0,23	[0,2 - 1,2], n=17	0,81 ± 0,63	[0,2 - 1,7], n=5

\* supplémentées en oléagineux (lin, colza, soja ou tournesol), huiles, AG dérivés ou graines non protégées, pour avoir plus de 4 % d'AG totaux dans MSI

\*\* moyenne, écart-type, mini, maxi, nombre de lots expérimentaux

Par ailleurs, il a été montré que la réponse des AG du lait à une supplémentation en AGPI varie au cours du temps, avec une forte instabilité lorsque les rations sont riches soit en concentré, soit en ensilage de maïs, reflétant probablement des adaptations de la flore responsable de la biohydrogénation ruminale (Chilliard *et al.*, 2007). Ainsi, avec des régimes contenant au moins 25 % d'ensilage de maïs et/ou 50 % de concentrés, la réponse du 18:2 9*c*,11*t* du lait atteint un maximum après environ deux semaines de supplémentation lipidique puis se réduit (AbuGhazaleh *et al.*, 2004 ; Bauman *et al.*, 2000 ; Dhiman *et al.*, 2000 ; Whitlock *et al.*, 2002) alors que s'installe progressivement une augmentation du 18:1 10*t* (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Ferlay *et al.*, 2003 a). En outre, avec des régimes plus riches en ensilage de maïs et/ou concentré, on assiste à une forte chute du TB du lait et une réponse éphémère du 18:2 9*c*,11*t* s'observe, avec un maximum dès 5 à 6 jours suivi d'une très forte augmentation de la teneur en 18:1 10*t* du lait (atteignant de 7 à 19 g/100 g d'AG) et une augmentation d'autres isomères *trans* tels que les 18:1 6/7/8*t* et des isomères 10*t*,12*c* et 9*t*,11*c* du 18:2 (Roy *et al.*, 2006 ; Shingfield *et al.*, 2006 et figure 8).

Par contre, lorsque les régimes sont basés sur de l'ensilage d'herbe (Ryhänen *et al.*, 2005), du foin (Roy *et al.*, 2006) ou de l'ensilage de légumineuses et du foin (Bell *et al.*, 2006), la réponse du 18:2 9c,11t du lait aux suppléments lipidiques est stable pendant au moins 3 à 14 semaines et le 18:1 10t reste inférieur à 0,7-1,4 g/100 g d'AG (Bell *et al.*, 2006 ; Roy *et al.*, 2006).

Il a été montré que l'addition de vitamine E au régime [en quantité très supérieure au « besoin normal » de la vache laitière (10 à 20 mg /kg MS)] permet d'éviter la déviation vers le 18:1 10t chez des vaches recevant un régime à base d'ensilage de maïs supplémenté en lin ; toutefois, cet effet n'est plus observé si la vitamine E est ajoutée après installation de la déviation (Pottier *et al.*, 2006). Par ailleurs, l'addition de Monensin (antibiotique ionophore dont l'utilisation n'est pas autorisée dans l'Union européenne) à un niveau élevé d'huile de carthame (6 % d'un régime riche en fibres) maximise la teneur en 18:2 9c,11t du lait (5,1 g/100 g d'AG) associée à des augmentations simultanées des 18:1 11t et 18:1 10t (Bell *et al.*, 2006).

Après addition d'huile de lin à un régime à base de foin, l'ALA du lait augmente légèrement pendant 6 jours puis revient au niveau basal après 9 jours (Roy *et al.*, 2006 et communication personnelle). Ceci suggère que, même en absence de déviation vers le 18:1 10t (cf. *supra*), la microflore du rumen a besoin de quelques jours pour s'adapter à l'apport d'AGPI. De plus, l'addition d'huiles de tournesol et de poisson à un régime à base d'ensilage de maïs augmente les teneurs en EPA et DHA du lait avec un maximum à 5 jours, après quoi le taux de transfert de la ration au lait diminue de 5 à moins de 1,5 % (Shingfield *et al.*, 2006), suggérant que l'adaptation peut aussi avoir lieu dans des conditions de déviation vers le 18:1 10t.

En conclusion, les suppléments d'huiles ou de graines oléagineuses ont des effets similaires, parfois plus marqués, que ceux d'une alimentation au pâturage mais ils augmentent aussi d'autres isomères *trans* du 18:1 et du 18:2, notamment lorsqu'ils sont ajoutés à des rations riches en concentrés et/ou en ensilage de maïs. Les huiles et graines riches en LA (tournesol, soja...) accroissent en particulier le 18:1 10t, le LA et les isomères 10t,12c, 8t,10c, 7t,9c et 9t,11c du 18:2. Les huiles et graines riches en ALA accroissent notamment le 13t/14t du 18:1, l'ALA et les isomères 9c,12t, 9c,13t et 11t,15c du 18:2.

### 1.1.3.6. Apports de CLA de synthèse dans la ration des vaches laitières

#### 1.1.3.6.1. Forme d'apport des CLA dans l'alimentation et transfert dans le lait

Les effets des CLA dans l'alimentation des vaches laitières ont été étudiés de façon croissante ces dernières années, du fait de la démonstration de l'inhibition de la synthèse de matière grasse dans la mamelle par l'infusion duodénale de l'isomère 18:2 10t,12c (deVeth *et al.*, 2004) alors que les autres isomères 8t,10c, 9c,11t, 10t,12t et 11c,13t sont sans effet (Perfield *et al.*, 2004). L'utilisation des CLA de synthèse dans les rations pour vaches laitières est donc orientée en premier lieu non pas vers la modification du profil en AG du lait ou l'enrichissement en certains AG spécifiques (CLA) mais vers la réduction du TB du lait (cf. *infra*) permettant de gérer ce paramètre impliqué dans le calcul des quantités de lait pouvant être produites pour chaque élevage (quota matières grasses).

Les apports alimentaires de CLA se font sous forme de mélange des différents isomères dont les proportions varient fortement en fonction du processus de synthèse industrielle : dans certains travaux, les mélanges contiennent les isomères 8-10 t/c ou c/t, 9c,11t, 10c,12t, 11c,13t ainsi qu'un ensemble de CLA non identifiés, souvent en proportion importante (tableau 25 A) ; on trouve également des mélanges où le procédé de synthèse industrielle produit essentiellement les isomères 9c,11t et 10t,12c, en proportions à peu près

identiques. En moyenne, les apports de 18:2 10*t*,12*c* rapportés dans la littérature sont proches de 14 g/j et compris entre 3 (Gervais *et al.*, 2005) et 37 g/j (Moore *et al.*, 2004).

**Tableaux 25 : Composition des mélanges de CLA apportés dans l'alimentation des vaches laitières et effet de leur apport sur les variations du profil en AG du lait de vache**

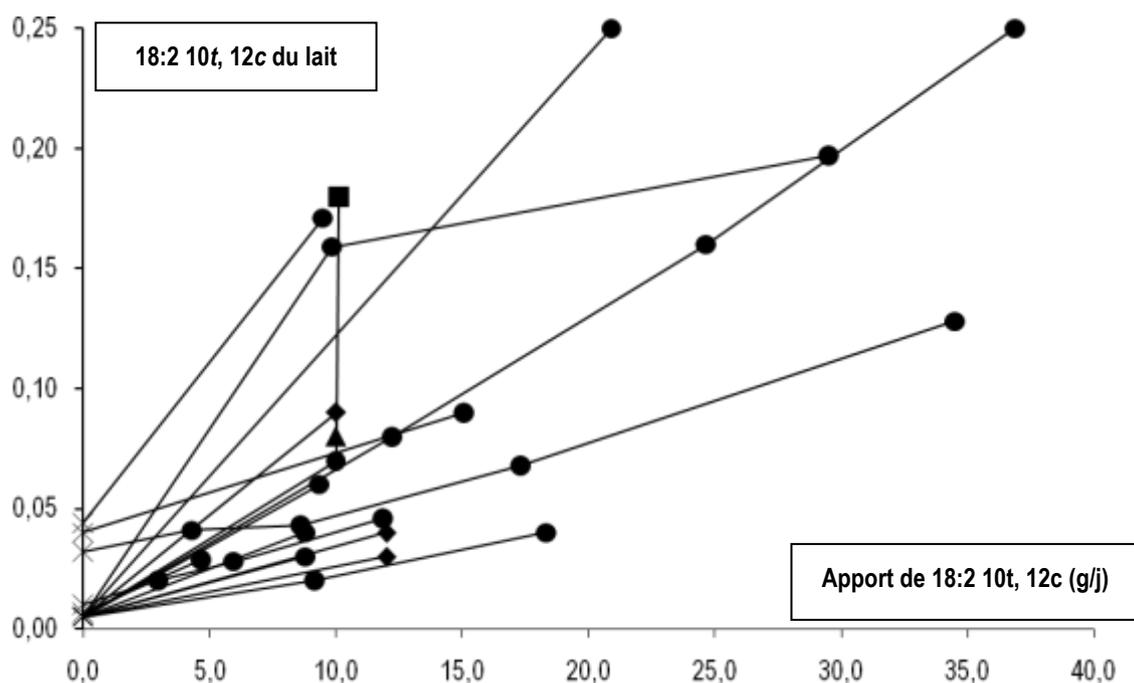
**Tableau 25 A : Proportions (% des CLA totaux) des différents isomères de CLA au sein des mélanges de CLA apportés dans l'alimentation des vaches laitières.**

Isomère	10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	8 <i>c</i> ,10 <i>t</i>	8 <i>t</i> ,10 <i>c</i>	11 <i>c</i> , 13 <i>t</i>	Autres isomères
<b>Référence</b>						
Giesy <i>et al.</i> , 2002	35,0	24,0	15,0		17,0	9,0
Perfield <i>et al.</i> , 2002 ; Bernal-Santos <i>et al.</i> , 2003	28,8	25,0		9,1	16,2	20,9
Moore <i>et al.</i> , 2004 et 2005	19,7	15,9		13,5	20,5	30,5
Perfield <i>et al.</i> , 2004	50,0	50,0				
Piperova <i>et al.</i> , 2004	35,8	35,1		8,5	11,6	9,0
Selberg <i>et al.</i> , 2004	18,0	14,5	21,0		18,7	27,8
Castaneda-Gutierrez <i>et al.</i> , 2005	29,0	21,8		21,2	28,0	
Gervais <i>et al.</i> , 2005	37,1	34,1		5,2	12,1	11,6
de Veth <i>et al.</i> , 2005 et 2006	48,9	51,1				
Kay <i>et al.</i> , 2006 ; Odens <i>et al.</i> , 2007	16,8	12,2		11,8	16,7	42,4

Les CLA apportés dans l'alimentation doivent être au moins partiellement protégés de la biohydrogénation ruminale afin de pouvoir être absorbés en quantité significative : les formes de protection rapportées le plus fréquemment sont les sels de Ca mais d'autres traitements technologiques comme l'encapsulation, le traitement par le formaldéhyde ou la présentation sous forme d'amide ont été utilisés. Du fait des coûts de ces différents procédés et de possibles réserves quant à l'utilisation controversée de formol en alimentation, les formes les plus utilisées sont les sels de Ca. Ces différentes technologies n'induisent cependant pas le même degré de protection vis-à-vis de la biohydrogénation ruminale comme le reflètent les différences d'efficacité de transfert du 18:2 10*t*,12*c*, calculée en divisant les quantités secrétées dans le lait par celles distribuées : respectivement 3,8 % ± 2,0 (n=19 lots), 4,0 % ± 3,0 (n=3 lots), 6,6 % (1 lot) et 6,8 % (1 lot) pour les sels de Ca, le traitement par encapsulation, les amides et le formaldéhyde respectivement.

Pour un type donné de protection, les proportions de 18:2 10*t*,12*c* dans le lait sont linéairement reliées aux quantités de cet isomère apportées dans l'alimentation (figure 9). Les teneurs moyennes de cet isomère pour des apports compris entre 5 et 10 g/j sous forme de sels de Ca sont comprises entre 0,03 et 0,07 % des AG totaux du lait, avec une valeur très élevée de 0,15 % rapportée récemment (Odens *et al.*, 2007). Cela conduit à des concentrations comprises entre 2 et 25 mg de 18:2 10*c*,12*t*/l de lait pour les doses indiquées ci-dessus mais ces valeurs peuvent dépasser 50 mg/l pour des apports de 18:2 10*t*,12*c* supérieurs à 20 g/j. Du fait de l'apport simultané de l'isomère 9*c*,11*t*, les proportions de celui-ci dans le lait peuvent atteindre 0,3 % à 1,02 % des AG totaux conduisant à des concentrations de 40 à 150 mg/l mais qui sont beaucoup moins variables que celles du 18:2 10*t*,12*c* du fait qu'une part très importante du 18:2 9*c*,11*t* est synthétisée dans la glande mammaire.

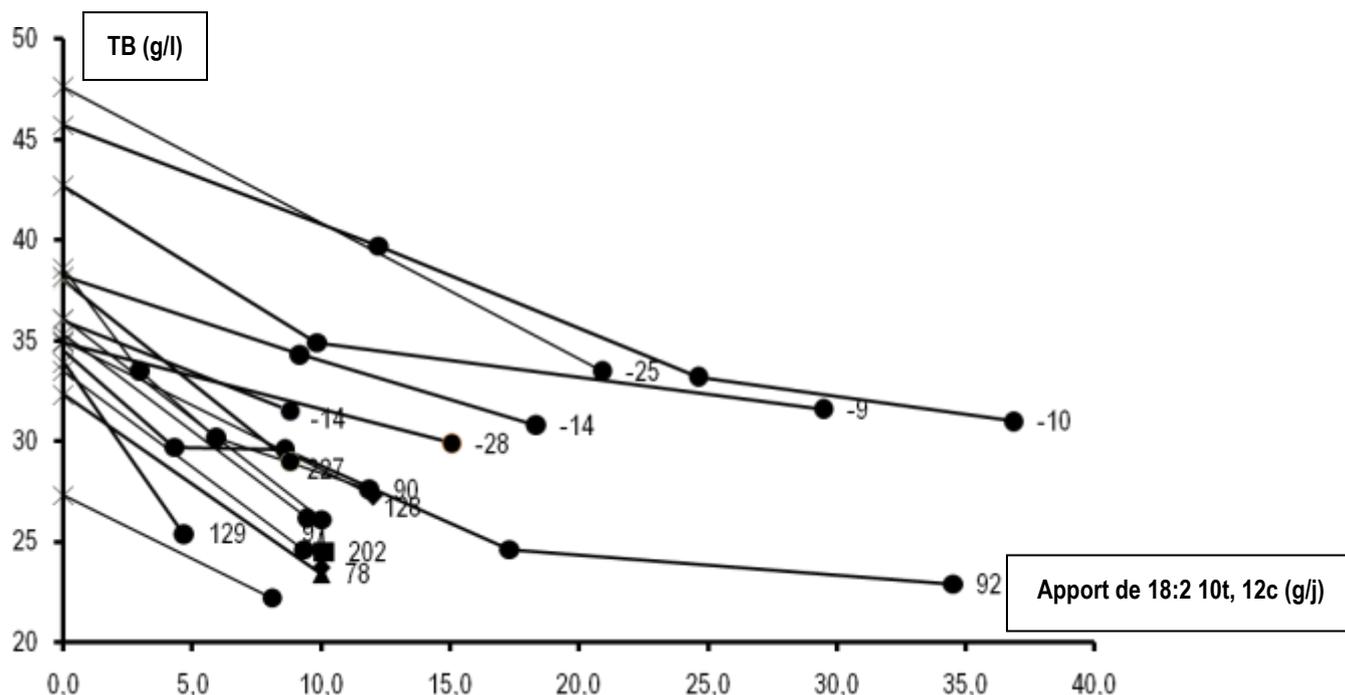
L'apport de 18:2 10*t*,12*c* se traduit généralement pas un effet dose-dépendant et curvilinéaire d'inhibition de la MG laitière produite ce qui est reflété par la forte réduction du TB du lait (figure 10) en l'absence de modification de la production laitière. Les plus fortes réductions du TB sont parfois associées à des réductions de la production laitière ce qui limite en pratique les doses utilisables (5 à 10 g/j). Dans cette plage de variation, les chutes de TB induites sont comprises entre 15 et 25 % du TB, des chutes de 30 à 40 % pouvant être observées avec des fortes doses (> 20 g/j) ou des apports plus modestes de 18:2 10*t*,12*c* protégé par du formaldéhyde (de Veth *et al.*, 2005).



Source : données bibliographiques (tableau 24).

Figure 9: Influence de la dose de 18:2 10*t*,12*c* et de sa présentation (X : témoin, ●: sels de Ca, ▲:amide, ◆: encapsulation, ■: formaldéhyde) sur les teneurs en 18:2 10*t*,12*c* du lait de vache.

### 1.1.3.6.2. Effet sur le TB du lait et sur le profil en AG de la MG



Les données chiffrées (en jours) indiquent le stade physiologique auquel a été initié le traitement (les données négatives indiquent des stades pré-partum). Source : données bibliographiques (Tableau 25 A).

Figure 10: Influence de la dose de 18:2 10t,12c et de sa présentation (X: témoin, ●: sels de Ca, ▲ : amide, ◆ : encapsulation, ■ : formaldéhyde) sur le TB du lait de vache.

Au-delà des effets dose d'apport, l'inhibition de la synthèse de MG est fonction du stade physiologique auquel est initié le traitement. Ainsi, la figure 10 met en évidence que l'apport de 18:2 10t,12c est très efficace pour réduire le TB lorsque la lactation est établie (> 3 semaines post-partum). Inversement, les essais initiés avant ou juste après la mise bas montrent, en dépit d'un transfert efficace et immédiat du 18:2 10t,12c dans le lait, des réponses plus faibles du fait d'une insensibilité partielle de la mamelle qui nécessite des fortes doses (> 20 g/j) pour induire une chute du TB, au moins durant les 10 premiers jours post-partum (Moore *et al.*, 2005 ; Odens *et al.*, 2007). La dynamique de la réduction du TB en pleine lactation est rapide, la chute se produisant dès le 2<sup>ème</sup> jour de traitement pour atteindre la réponse maximale entre le 6<sup>ème</sup> et le 10<sup>ème</sup> jour et se stabiliser ensuite. Il faut indiquer qu'il existe peu de références étudiant l'effet du 18:2 10t,12c sur le long terme (Perfield *et al.*, 2002). L'arrêt de l'apport de CLA dans l'alimentation induit un retour progressif en 10 jours du TB.

Concernant les principaux AG du lait, les effets de l'apport de 18:2 10t,12c présentent les mêmes facteurs de variations que ceux évoqués pour le TB (doses d'apport, formes de protection, stade physiologique et dynamique des variations). Au tableau 25 figurent les variations induites des proportions des principaux AG ou groupes d'AG, indépendamment des facteurs de variations indiqués précédemment.

**Tableau 25 B : Effet de l'apport de CLA sur les variations du profil en AG du lait de vache.**

	Lots témoins		Variation pour les lots supplémentés par des CLA			
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Min	Max
<b>AGS</b>	61,2	2,74	-3,10	1,70	-6,52	-0,57
12:0 à 18:0	52,05	2,07	-2,07	1,23	-4,06	-0,50
12:0	2,36	0,56	-0,34	0,19	-0,70	+0,08
14:0	8,73	1,51	-0,65	0,69	-2,20	+0,20
16:0	28,69	2,74	-2,30	1,10	-4,80	-0,62
18:0	11,87	2,12	+1,07	0,86	-0,14	+3,28
<b>AG trans totaux</b>	3,83	1,07	+1,02	1,09	+0,1	+4,0
CLA totaux	0,53	0,22	+0,51	0,69	+0,02	+2,74
18:2 9c,11t	0,48	0,21	+0,12	0,16	-0,03	+0,57
18:2 10t,12c	0,01	0,01	+0,08	+0,07	+0,01	+0,25
18:1 9t	0,35	0,29	+0,05	0,05	0,00	+0,19
18:1 10t	0,51	0,19	+0,16	0,20	0,00	+0,82
18:1 11t	1,43	0,62	+0,10	0,32	-0,41	+0,79
<b>AGPI totaux</b>						
LA	3,22	0,88	+0,40	0,26	-0,07	+1,18
ALA	0,50	0,26	+0,06	0,08	+0,00	+0,30

Toutes les données sont exprimées en % des AG totaux de la MG du lait (moyenne  $\pm$  écart-type (ET)). Les données présentées sont des données brutes non corrigées des effets de la dose de CLA apportée ou du procédé technologique de protection des CLA (14 ou 15 lots non supplémentés et 21 à 26 lots CLA en fonction de l'AG considéré). L'apport de 18:2 10t,12c variait entre 2,5 et 47 g par vache et par jour.

Source : données bibliographiques (tableau 25 A).

L'apport de 18:2 10t,12c induit une diminution de la proportion des AGS totaux de 3,1 % en moyenne et qui peut atteindre jusqu'à 6 % des AG du lait pour les doses de CLA les plus élevées. Cette réduction est essentiellement due à une réduction de la proportion des AG moyens du 10:0 au 14:0 (-1,5 %) ainsi que du 16:0 (-2,3 %). La réduction de la sécrétion de ces AG est encore plus forte du fait de la réduction du TB qui lui est associée. Inversement, les AGS longs directement prélevés dans le sang (> 18 C) ont des proportions le plus souvent accrues même si leur production quotidienne est réduite mais de façon moins marquée que pour les AG courts et moyens.

L'apport des mélanges de CLA accroît de façon dose-dépendante la proportion en AGMI *trans* dans le lait, l'isomère ayant l'accroissement le plus important étant le 18:1 10t alors que le 18:1 11t est modifié de façon plus variable (tableau 25 B). Ces accroissements correspondent au fait que les CLA ne sont que partiellement protégés de la biohydrogénation ruminale induisant la production du 18:1 10t, et à l'activité de la  $\Delta$  9-désaturase mammaire qui transforme le 18:1 11t en 18:2 9c,11t. Cependant, tous les autres AGMI *trans* sont également accrues mais souvent de façon modeste. En cumulant les AGMI *trans* ainsi que tous les isomères des CLA présentant une liaison *trans*, les proportions d'AG présentant une double liaison *trans* sont accrues en moyenne de 1,1 point (soit environ + 25 % par rapport aux laits de vaches « non supplémentés »). Néanmoins, un quasi-doublement des teneurs en AG *trans* totaux a pu également être observé chez des vaches supplémentées par des doses élevées de CLA comprises entre 120 et 170 g/j (Kay *et al.*, 2006 ; Odens *et al.*, 2007) aboutissant à des teneurs comprises entre 6 et 10 % (Kay *et al.*, 2006).

L'apport de CLA augmente en moyenne la proportion de 18:1 9c du lait de 6,8 % mais dans beaucoup d'essais, cette variation n'est pas significative. Concernant les AGPI, l'apport de CLA accroît de 10 à 15 % les proportions du LA et de l'ALA avec très peu de modification

du rapport entre ces 2 AG. Aucune donnée concernant les variations des AGPI-LC (> 20C) après apport de CLA n'est disponible.

Il faut également mentionner que des apports de sels de Ca AGMI *trans* ont été utilisés en comparaison de l'apport de CLA, avec des doses d'apport comprise entre 30 et 128 g/j (Piperova *et al.*, 2004 ; Selberg *et al.*, 2004). Bien que le 18:1 10t n'ait pas d'effet sur le TB (Lock *et al.*, 2007), de faibles diminutions du TB, inférieures à celle obtenues avec les CLA, ont été rapportées. Cependant, l'utilisation de ces sels de Ca d'AG *trans* n'a pas été développée dans la mesure où des effets négatifs sur l'ingestion et le bilan énergétique des vaches ont été rapportés (Selberg *et al.*, 2004). Il faut également indiquer que les teneurs en AGMI *trans* ont été multipliées par 2 pour les plus fortes doses d'apport, avec un accroissement principalement des isomères 9t et 10t du 18:1, sans modification des isomères des CLA (Piperova *et al.*, 2004).

#### 1.1.4. Conclusion

L'alimentation permet de faire varier largement, et de façons diverses, la composition en AG du lait. Les progrès récents des connaissances sur les mécanismes de synthèse de ces AG (digestion et métabolisme) et sur leurs effets physiologiques chez l'Homme stimulent fortement les recherches en cours et leurs applications potentielles. Il n'existe toutefois que peu d'études mesurant finement la composition en AG du lait et comparant systématiquement différents fourrages, concentrés, suppléments lipidiques (huiles, graines, traitements technologiques) et leurs interactions. Il reste, de ce fait, délicat d'établir précisément les lois de réponse à l'alimentation pour tous les différents AG d'intérêt.

Les rations à base d'herbe, pâturée ou conservée dans de bonnes conditions, modifient le profil des AG du lait dans un sens potentiellement favorable, comparées aux rations riches en concentrés et/ou en ensilage de maïs. Les complémentations en oléagineux (lin notamment) ont des effets en partie similaires à l'herbe mais accroissent en outre différents isomères *trans* du 18:1 et du 18:2, particulièrement lorsqu'ils sont ajoutés à des rations riches en concentrés et/ou en ensilage de maïs. Les effets potentiels de la majorité de ces isomères sont encore inconnus chez le rongeur et l'Homme. Dans la mesure où les recommandations nutritionnelles pour l'Homme peuvent encore se préciser dans les prochaines années, les nutritionnistes des vaches laitières doivent continuer à étudier les lois de réponses d'un grand nombre d'AG majeurs et mineurs et modéliser leurs mécanismes de synthèse.

Par ailleurs, les effets à long terme des supplémentations lipidiques (et leurs interactions avec le type de ration utilisé) sur la composition en AG du lait et sur les performances laitières (production laitière, TB et TP du lait), la reproduction et la santé des vaches laitières sont encore très mal connus. De plus, les effets secondaires potentiels des différentes pratiques alimentaires sur la qualité technologique, sensorielle et sanitaire (transfert éventuel de facteurs antinutritionnels présents dans certaines graines, variations de nutriments à effet pro-oxydant, apports alimentaires d'antioxydants,...) et sur l'image des produits laitiers demandent à être mieux évalués.

## 1.2. Brebis et chèvre laitières

### 1.2.1. Données générales

En France, la consommation de produits laitiers des petits ruminants s'effectue principalement sous forme de fromages puisque la quasi-totalité (95 %) du lait de chèvre et de brebis est transformée. La consommation annuelle de ces produits par les ménages croit constamment depuis 10 ans pour atteindre respectivement 2 kg et 1,3 kg pour les fromages de chèvre et de brebis (Institut de l'Élevage, 2008 a et b). Cette augmentation a essentiellement été permise par l'amélioration des performances de production laitières durant ces dernières années.

Cette amélioration du niveau de production doit également s'accompagner d'une amélioration de la qualité du lait, en particulier du TB et du TP, du fait des conséquences positives de ces taux sur la transformation fromagère tant du point de vue rendement en caillé associé au TP que des qualités organoleptiques (onctuosité...) et technologiques associées au TB et à la composition en AG du lait. Par ailleurs, à certaines périodes de l'année (avril – juin), le TP peut être supérieur au TB (inversion des taux) ce qui amène certains éleveurs à recourir à des pratiques alimentaires utilisant des sources de MG (savons de Ca d'huile de palme, graines d'oléoprotéagineux) pour résoudre ce problème (cf. *infra*).

## **1.2.2. Composition moyenne en lipides du lait de brebis et de chèvre**

### **1.2.2.1. Principales classes de lipides**

Dans le lait de chèvre, les lipides sont constitués de 95 % à 97 % de triglycérides, de 3 à 5 % de mono- et diglycérides, de 1 % de phospholipides, de 0,6 % d'AG libres et de 0,3 % à 0,8 % de cholestérol libre (Chilliard, 1997). Les teneurs en cholestérol du lait de brebis sont du même ordre de grandeur.

### **1.2.2.2. Profil moyen en AG du lait**

Indépendamment des conditions d'alimentation, de saisons ou de races, les données moyennes de composition en AG du lait chez la chèvre et la brebis sont présentées aux tableaux 26 et 27. Pour chaque espèce, figurent les données issues, d'une part, d'analyses de laits de mélange généralement obtenus sur des effectifs animaux importants (Alonso *et al.*, 1999 ; Goudjil *et al.*, 2004; Luna *et al.*, 2005 b), d'autre part, d'analyses de 71 laits individuels sur un troupeau expérimental caprin alimenté avec des régimes mixtes à base de fourrages proches de ceux utilisés sur le terrain en France (Chilliard *et al.*, 2006 b), et enfin, des valeurs moyennes (et leurs variations) pour les différents AG calculées à partir de la constitution d'une base de données élaborée dans le cadre de ce groupe de travail. En particulier, seuls les profils en AG de la MG laitière issue d'animaux n'ayant pas reçu de supplémentation lipidique ou n'étant pas issus de lait de mélange ont été considérés pour l'établissement de ces données moyennes. Les valeurs issues de la base de données et celles issues des laits de mélanges sont généralement très proches : les données issues de la base seront donc retenues pour le reste de cette partie puisque les conditions d'élevage et d'alimentation y sont précisées.

Une part importante des données chez les brebis correspond à des systèmes alimentaires à base de pâturage et à des races peu utilisées en France ; par ailleurs, une fraction importante des données concernant les chèvres provient de systèmes alimentaires plutôt intensifs, recourant à une part importante d'alimentation concentrée et de fourrages conservés.

Chez la chèvre, la somme des AGS pairs (entre 4 et 22 C), des AGS impairs et ramifiés, des AGMI et des AGPI ( $\geq 18$  C) représente respectivement près de 72 %, 4 %, 20 % et moins de 5 % des AG totaux. Chez la brebis, ces proportions sont respectivement de 65 %, 3 %, 25 % et moins de 5 %. Les données concernant les AGS pairs de ces 2 espèces de petits ruminants sont donc proches de celles observées chez la vache laitière (cf. tableaux 8, 9 et 18).

**Tableau 26 : Profils moyens en AG du lait de chèvre obtenus à partir de l'analyse de lait de mélange, de troupeau ou issus d'une base de données.**

	Alonso <i>et al.</i> , 1999 <sup>1</sup>	Chilliard <i>et al.</i> , 2006 b <sup>2</sup>	Base de données <sup>3</sup>
	Moyenne ± SEM <sup>4</sup>	Moyenne ± SEM <sup>4</sup>	Moyenne ± SEM <sup>4</sup> (n) <sup>5</sup>
<b>AG (% AG totaux)</b>			
4:0	2,18 ± 0,04	2,31 ± 0,05	2,30 ± 0,14 (39)
6:0	2,39 ± 0,05	2,59 ± 0,04	2,64 ± 0,10 (39)
8:0	2,73 ± 0,06	2,89 ± 0,05	3,20 ± 0,24 (39)
10:0	9,97 ± 0,20	10,46 ± 0,17	11,00 ± 0,26 (39)
10:1	0,24 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,31 ± 0,01 (2)
11:0	0,15 ± 0,02	0,10 ± 0,004	0,28 ± 0,02 (4)
12:0	5,00 ± 0,20	4,85 ± 0,10	5,42 ± 0,17 (39)
12:1	0,19 ± 0,01	.	.
13:0	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,21 ± 0,03 (4)
iso 14:0	.	0,13 ± 0,004	0,12 ± 0,02 (2)
14:0	9,81 ± 0,26	12,26 ± 0,13	11,07 ± 0,21 (39)
14:1 9c	.	0,16 ± 0,005	0,24 ± 0,06 (4)
14:1 total	0,18 ± 0,01	.	0,35 ± 0,10 (4)
iso 15:0	0,13 ± 0,01	0,24 ± 0,004	.
antéiso 15:0	0,21 ± 0,01	0,46 ± 0,01	0,34 ± 0,02 (2)
15:0	0,67 ± 0,04	1,16 ± 0,02	1,13 ± 0,05 (17)
15:1	0,10 ± 0,01	.	.
iso 16:0	0,24 ± 0,02	0,32 ± 0,01	0,37 ± 0,02 (2)
16:0	28,23 ± 0,75	29,55 ± 0,30	29,74 ± 0,53 (39)
16:1 9c	.	.	1,18 ± 0,35 (5)
<i>cis</i> 16:1 total	.	0,71 ± 0,02	2,20 ± 0,06 (3)
<i>trans</i> 16:1	0,16 ± 0,01	.	0,67 ± 0,02 (3)
16:1 total	1,59 ± 0,06	.	1,64 ± 0,23 (28)
iso 17:0	0,35 ± 0,03	0,30 ± 0,02	.
antéiso 17:0	0,42 ± 0,04	.	0,44 ± 0,01 (2)
17:0	0,72 ± 0,10	0,74 ± 0,02	0,86 ± 0,07 (18)
17:1	0,39 ± 0,02	0,29 ± 0,01	0,50 ± 0,04 (4)
18:0	8,88 ± 0,53	7,06 ± 0,16	7,17 ± 0,51 (39)
18:1 6c	.	.	0,33 ± 0,01 (2)
18:1 9c	.	15,86 ± 0,35	18,87 ± 1,29 (11)
18:1 11c	.	0,35 ± 0,01	0,35 ± 0,02 (2)
18:1 12c	.	0,12 ± 0,005	.
<i>cis</i> 18:1	19,29 ± 0,49	16,45 ± 0,36	15,76 ± 1,79 (9)
<i>trans</i> 18:1	2,12 ± 0,24	1,19 ± 0,04	1,87 ± 0,24 (10)

	Alonso <i>et al.</i> , 1999 <sup>1</sup>	Chilliard <i>et al.</i> , 2006 b <sup>2</sup>	Base de données <sup>3</sup>
	Moyenne ± SEM <sup>4</sup>	Moyenne ± SEM <sup>4</sup>	Moyenne ± SEM <sup>4</sup> (n) <sup>5</sup>
18:1 total	.	17,64 ± 0,36	17,18 ± 1,00 (28)
LA	.	2,02 ± 0,03	2,59 ± 0,19 (12)
18:2 9c,13t	.	0,11 ± 0,005	.
18:2 9t,12t	.	.	0,28 ± 0,06 (2)
CLA total	0,70 ± 0,07	.	0,77 ± 0,28 (2)
18:2 total (CLA inclus)	3,19 ± 0,10	.	2,79 ± 0,11 (26)
ALA	.	0,36 ± 0,02	0,54 ± 0,09 (12)
18:3 6c,9c,12c	.	.	0,15 ± 0,07 (2)
18:3 total	0,42 ± 0,05	.	0,61 ± 0,07 (15)
20:0	0,15 ± 0,03	0,13 ± 0,004	0,27 ± 0,11 (7)
20:1	.	.	0,13 ± 0,01 (4)
20:2	.	.	0,06 ± 0,04 (4)
20:3 (n3)	.	0,02 ± 0,003	0,09 ± 0,08 (4)
ARA	.	0,14 ± 0,01	0,18 ± 0,01 (9)
EPA	.	0,05 ± 0,005	0,08 ± 0,02 (5)
22:0	.	.	0,12 ± 0,05 (4)
22:1 13c	.	.	0,01 ± 0,03 (3)
DHA	.	0,01 ± 0,001	0,02 ± 0,01 (3)
<b>AG (% FAME)</b>			
18:1 6t au 9t	<i>0,11</i>	.	.
18:1 6t au 8t	.	0,10 ± 0,005	0,13 ± 0,01 (6)
18:1 9t	.	0,14 ± 0,005	0,16 ± 0,01 (6)
18:1 10t	.	0,14 ± 0,005	0,20 ± 0,02 (8)
18:1 11t	.	0,50 ± 0,02	0,66 ± 0,09 (8)
18:1 10t+11t	<i>1,15</i>	0,64 ± 0,03	1,08 (1)
18:1 12t	<i>0,18</i>	0,14 ± 0,01	0,17 ± 0,01 (6)
18:1 13t + 14t	<i>0,36</i>	0,17 ± 0,003	0,24 ± 0,03 (4)
18:1 15t	<i>0,13</i>	.	0,10 ± 0,01 (4)
18:1 16t	<i>0,18</i>	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01 (4)
18:2 9c,11t	.	0,30 ± 0,01	0,46 ± 0,09 (5)
18:2 10t,12c	.	traces	.
AGS totaux			74,6 ± 2,66 (20)
Σ AGS 12:0-18:0			54,4 ± 0,57 (39)

1. Alonso *et al.*, 1999. Profils issus de laits de mélanges provenant de 5 troupeaux différents et suivis durant 7 mois (1 prélèvement par mois) durant la période hiver-printemps (Novembre à Mai) dans la région de Murcia (Espagne). Les données en italique concernant les AG monoène trans à 18C ont été recalculées à partir des données de la publication.

2. Chilliard *et al.*, 2006b. Profils issus du suivi d'un effectif total de 71 chèvres pendant 4 années d'un troupeau expérimental (INRA) ayant reçu des régimes mixtes à base de fourrages, non supplémentés en lipides.

3. Base de données constituée à partir des publications scientifiques rapportant la composition en AG du lait de chèvre ou de brebis.

4. SEM : erreur type de la moyenne.

5. n : nombre d'observations.

**Tableau 27 : Profils moyens en AG du lait de brebis obtenus à partir de l'analyse de lait de mélange ou issus de la base de données.**

	Luna <i>et al.</i> , 2005b + Goudjil <i>et al.</i> , 2004 <sup>1</sup>	Base de données <sup>2</sup>
AG (% FAME)	Moyenne ± SD <sup>3</sup>	Moyenne ± SEM (n)
4:0	3,51 ± 0,31	3,96 ± 0,15 (27)
5:0	0,02 ± 0,01	.
6:0	2,90 ± 0,31	2,59 ± 0,13 (27)
7:0	0,04 ± 0,02	.
8:0	2,64 ± 0,42	2,27 ± 0,18 (27)
9:0	0,07 ± 0,02	0,06 (1)
10:0	7,82 ± 1,49	7,80 ± 0,56 (27)
10:1	0,26 ± 0,03	0,29 (1)
11:0	0,09 ± 0,03	.
12:0	4,38 ± 0,54	4,33 ± 0,30 (27)
12:1	0,04 ± 0,01	.
13:0	0,17 ± 0,03	0,12 (1)
iso14:0	0,11 ± 0,02	0,06 (1)
14:0	10,43 ± 0,34	10,58 ± 0,38 (27)
14:1 9c	.	0,20 ± 0,02 (14)
<i>trans</i> 14:1	.	0,60 (1)
<i>trans</i> 14:1	0,28 ± 0,13	0,52 ± 0,18 (6)
iso 15:0	0,34 ± 0,08	0,15 (1)
antéiso 15:0	0,47 ± 0,11	0,28 (1)
15:0	0,99 ± 0,08	1,22 ± 0,06 (15)
15:1	.	0,08 (1)
iso 16:0	0,21 ± 0,04	0,25 (1)
16:0	25,93 ± 2,18	23,54 ± 0,64 (27)
16:1 9c	.	0,80 ± 0,07 (15)
<i>cis</i> 16:1	.	0,50 (1)
<i>trans</i> 16:1	0,25 ± 0,05	0,90 (1)
16:1 total	1,03 ± 0,20	2,61 ± 0,32 (10)
iso 17:0	0,53 ± 0,07	0,45 (1)
antéiso 17:0	0,30 ± 0,04	0,23 (1)
17:0	0,63 ± 0,06	0,67 ± 0,04 (14)

	Luna <i>et al.</i> , 2005b + Goudjil <i>et al.</i> , 2004 <sup>1</sup>	Base de données <sup>2</sup>
<b>AG (% FAME)</b>	Moyenne ± SD <sup>3</sup>	Moyenne ± SEM (n)
17:1	0,20 ± 0,02	0,18 ± 0,04 (2)
18:0	9,57 ± 0,92	9,78 ± 0,53 (27)
18:1 6c	.	0,30 (1)
18:1 9c	.	21,73 ± 1,33 (22)
18:1 11c	.	.
<i>cis</i> 18:1	.	.
<i>trans</i> 18:1	2,90 ± 0,28	3,06 ± 0,80 (3)
18:1 total	21,10 ± 1,98	20,69 ± 1,92 (6)
LA	.	2,95 ± 0,28 (23)
18:2 9t, 12t	.	.
CLA total	0,74 ± 0,21	1,11 ± 0,16 (5)
18:2 total	3,21 ± 0,12	1,93 ± 0,01 (4)
ALA	.	1,41 ± 0,18 (21)
18:3 6c,9c,12c (n-6)	.	.
18:3 total	0,80 ± 0,21	1,02 ± 0,02 (4)
20:0	0,45 ± 0,07	0,20 ± 0,02 (3)
20:1 total	0,06 ± 0,01	0,36 ± 0,28 (2)
20:2	.	.
20:3 (n-3)	.	0,22 ± 0,04 (2)
ARA	0,06 ± 0,02	0,14 ± 0,08 (3)
EPA	.	0,06 ± 0,04 (3)
22:0	0,20 ± 0,05	0,10 ± 0,03 (2)
22:1	.	0,13 (1)
DHA	.	0,04 ± 0,04 (2)
18:1 6t+7t+8t	0,08	0,34 ± 0,07 (3)
18:1 9t	0,08	0,34 ± 0,03 (3)
18:1 10t	0,18	0,91 ± 0,03 (3)
18:1 11t	1,49	2,32 ± 0,23 (15)
18:1 12t	0,21	0,31 (1)
18:1 13t+14t	0,58	.
18:1 15t	0,11	.
18:1 16t	0,18	.
18:2 9c,11t	.	1,47 ± 0,151 (13)
18:2 10t,12c	.	0,06 ± 0,045 (2)

	Luna <i>et al.</i> , 2005b + Goudjil <i>et al.</i> , 2004 <sup>1</sup>	Base de données <sup>2</sup>
AG (% FAME)	Moyenne ± SD <sup>3</sup>	Moyenne ± SEM (n)
AGS totaux		66,8 ± 8,7 (26)
Σ AGS 12:0-18:0		48,7 ± 4,69 (27)

1. Luna *et al.*, 2005 b + Goudjil *et al.*, 2004. Profils issus de laits de mélanges provenant de 5 troupeaux constitués de 5 races de brebis différentes, suivis durant 9 mois (1 prélèvement par mois) durant la période de lactation en Espagne. Les données en italique concernant les AG monoène trans à 18C ont été recalculées à partir des données des deux publications.

2. Base de données constituée à partir des publications scientifiques rapportant la composition en AG du lait de chèvre ou de brebis.

3. SD : écart-type de la moyenne ; SEM : erreur type de la moyenne ; n : nombre d'observations.

#### 1.2.2.2.1. Profil en AGS

D'après la base de données, les AGS pairs à chaîne courte (4 C à 8 C) et ceux à chaîne moyenne (10 C à 14 C) représentent chez la chèvre approximativement 8 et 27 % des AG totaux ; chez la brebis, ces proportions sont de 8 et 23 % respectivement. Les proportions des AGS longs ( $\geq 20$  C) sont très faibles dans les deux espèces.

Les AGS impairs ou ramifiés constituent une part non négligeable de la matière grasse laitière : 3,3 ( $\pm 0,14$ ) et 2,1 ( $\pm 0,12$ ) % des AG totaux chez la chèvre et la brebis, respectivement (tableaux 26 et 27). Ces différences sont essentiellement dues à des proportions plus élevées en 17:0 et antéiso17:0 dans le lait de chèvre que dans le lait de brebis, liées aux particularités métaboliques de la chèvre pour la synthèse de ces AG (Massart-Léon *et al.*, 1983 ; Chilliard *et al.*, 2006 a). Ces données sont importantes à considérer dans la mesure où certains de ces AG (principalement sous forme mono-méthyl à chaîne courte) constituent lorsque la lipolyse post-traite est élevée, des facteurs déterminants de saveurs spécifiques des produits issus des petits ruminants (Chilliard *et al.*, 2003).

#### 1.2.2.2.2. Profil en AGMI

Les proportions des AGMI *cis* sont du même ordre chez la chèvre (19,6  $\pm$  1,6 % des AG totaux) et la brebis (22 %  $\pm$  1,3 % des AG totaux), le 18:1 9c représentant plus de 95 % des AGMI dans les deux espèces. Les autres AGMI *cis* sont présents en faible quantité (environ 1 % pour le 16:1 9c, moins de 0,4 % pour le 14:1 9c). Les isomères *cis* du 18:1 (position en  $\Delta 6-8$ ,  $\Delta 12$  à  $\Delta 15$ ) sont le plus souvent non quantifiés dans la mesure où ils représentent moins de 1 % des isomères du 18:1 comme l'ont montré Precht *et al.* (2001) dans des fromages de brebis ou de chèvre.

Dans les deux espèces, les AGMI de configuration *trans* à 14 ou 16 C sont peu représentés quantitativement. Leurs proportions dans la base de données varient de 0,67 à 0,90 % des AG totaux chez la chèvre et la brebis. Ces valeurs issues d'une seule publication pour chaque espèce avec des alimentations très riches en concentrés (80 à 100 % de la MS ; Calderon *et al.*, 1984 ; Zhang *et al.*, 2006 a) sont ainsi plus élevées que celles de Alonso *et al.* (1999) et Destailats *et al.* (2000) : ces auteurs rapportent des proportions de 0,16 % et 0,26 % des AG totaux pour les *trans* 16:1 totaux chez la chèvre et la brebis, respectivement : l'isomère principal est le 16:1 9t qui représente 1/3 des *trans* 16:1, les autres isomères s'étendant de la position  $\Delta 3$  à  $\Delta 14$ .

Les AGMI *trans* sont essentiellement représentés par les AG à 18 C qui constituent, hors supplémentation lipidique, 1,87 ( $\pm 0,24$ ) % des AG totaux chez la chèvre et une proportion significativement plus élevée chez la brebis : 3,06 ( $\pm 0,80$ ) % des AG totaux. Ces données confirment celles de Precht *et al.* (2001) montrant que des fromages de brebis contenaient des proportions de *trans* 18:1 plus élevées que ceux de chèvre. Des teneurs en

*trans* 18:1 pouvant atteindre approximativement 8 % des AG totaux ont ainsi été rapportées dans des fromages de brebis alimentées au pâturage (Banni *et al.*, 1996). Ces différences reflètent d'une part des différences de systèmes d'élevage (pâturage pour les brebis contre alimentation en chèvrerie), et d'autre part, de possibles différences de fonctionnement ruminal et/ou métabolique entre espèces. Cependant, peu de comparaisons directes entre brebis et chèvre pour leur production ruminale d'AG *trans* ont été effectuées *in vivo* à partir de rations identiques : les données de Tsiplakou *et al.* (2006) suggèrent cependant qu'à alimentation identique (foin + concentré), il pourrait exister des différences de réponses pour la composition en AG du lait entre les deux espèces (cf. « *Modification de la composition en AG de la matière grasse laitière par l'alimentation* »).

La proportion plus élevée des *trans* 18:1 chez la brebis par rapport à la chèvre est liée à celle du 18:1 11*t* mais aussi de tous les autres isomères du 18:1 depuis le 6*t*+7*t*+8*t* jusqu'au 12*t*, et probablement des isomères 13*t* + 14*t*, 15*t* et 16*t* (tableau 26). Cependant, aucune information dans la base de données n'est disponible pour les proportions de ces 3 derniers isomères chez la brebis : les proportions des autres isomères sont donc partiellement surestimées. Seules des données de lait de mélange chez la brebis (Goudjil *et al.*, 2004) font apparaître que, derrière l'isomère 11*t* majoritaire, les isomères 13*t* + 14*t* représentent 20 % des *trans* 18:1, loin devant les autres isomères identifiés, en particulier le 18:1 10*t*. Chez la chèvre, le profil des isomères des *trans* 18:1 est qualitativement identique à celui obtenu chez la brebis : l'isomère 11*t* (tableau 27) est majoritaire mais il ne représente, pour la base de données, que 40 % des *trans* 18:1, suivi par des proportions identiques (20 % environ) des isomères 10*t* et 13*t* + 14*t*. Dans les deux espèces, les proportions des isomères 4*t* et 5*t* sont très faibles et très rarement rapportées : chez la chèvre, Andrade et Schmidely (2006 b) et Ledoux *et al.* (2002) ont montré que ces deux isomères sont détectés dans le lait de chèvre mais en-deçà de la limite de quantification de la méthode analytique.

#### 1.2.2.3. Profil en AGPI-18C, en CLA, et en AGPI-LC

##### AGPI octadécadiénoïques

Dans les deux espèces, les AG 18:2 non conjugués dans le lait sont essentiellement représentés par le LA dont la teneur est inférieure généralement à 3 % des AG totaux (tableaux 26 et 27). Des isomères *c/t* ou *t/c* non conjugués d'origine ruminale ont également été rapportés dans le lait de chèvre pour l'isomère 9*t*,12*t* (Andrade et Schmidely, 2006 b) 9*c*,13*t*, 11*t*,15*c* (Chilliard *et al.*, 2006 a,b ; Rouel *et al.*, 2004) et dans le lait de brebis pour les isomères 9*t*,12*t*, 9*c*,12*t*, 11*t*,15*c* du 18:2 et le mélange 9*t*,12*c* + 11*t*,15*c* avec des proportions généralement inférieures à 0,3 % des AG totaux. Les facteurs de variations d'origine alimentaire de ces isomères ne sont pas totalement identifiés.

L'isomère le plus important des CLA est le 18:2 9*c*,11*t* chez la brebis et la chèvre mais le lait de brebis contient généralement des proportions plus élevées de cet isomère (tableaux 26 et 27). Ces données confirment celles de Jahreis *et al.* (1999) obtenues sur brebis et chèvres au pâturage et celles de Banni *et al.* (1996) rapportant des valeurs élevées des CLA totaux chez la brebis. Ce phénomène est à relier à la teneur plus importante de l'isomère 18:1 11*t* dans le lait de brebis : il existe ainsi une relation linéaire entre le 18:1 11*t* et le 18:2 9*c*,11*t* du lait dans les deux espèces : la pente intra-expérimentation pour les deux espèces est numériquement plus élevée chez les chèvres (0,38 ± 0,01) que chez les brebis (0,32 ± 0,04). La pente observée chez la chèvre dans la base de données (0,38) est très proche de celle (0,40) observée intra-laboratoire sur 38 lots de chèvres (n=401) recevant une grande variété de régimes (Chilliard *et al.*, 2003).

Cependant, les valeurs obtenues en CPG pour l'isomère 18:2 9*c*,11*t* sont probablement légèrement surestimées du fait de 3 pics mineurs co-éluant avec cet isomère (18:2 6*t*,8*c*, 7*t*,9*c* et 8*t*,10*c*). Par ailleurs, par séparation en CLHP-Ag<sup>+</sup>, Luna *et al.* (2005 a,b) ont montré

sur des laits de mélange de brebis que l'isomère 18:2 9c,11t représente de 75 à 86 % des CLA, avec une forte variabilité inter-troupeaux attribuable à des différences de nature de systèmes alimentaires et ou de race. De façon comparable aux vaches laitières, le second isomère identifié est le 7t,9c estimé représenter 5 à 10 % du CLA total alors que les isomères exclusivement d'origine ruminale 8-10 et 10-12 (c/t ou t/c) représentent moins de 1 % des CLA totaux, probablement du fait que l'alimentation des troupeaux étudiés contenait peu de MG ajoutées et peu d'aliments concentrés amylacés. Il est également possible de trouver des teneurs non négligeables en 11-13 (c/t ou t/c), jusqu'à 4 % des CLA totaux.

Chez la chèvre, il n'existe pas de données publiées décrivant aussi complètement le profil en CLA : l'isomère le plus fréquemment rapporté en plus du 18:2 9c,11t est le 10t,12c dont la plage de variation s'étend lorsque la ration n'est pas supplémentée en lipides, de valeurs détectables mais non quantifiables (Andrade et Schmidely, 2006 b) jusqu'à des valeurs inférieures à 0,01 % des AG totaux (Nudda *et al.*, 2006). L'isomère 7t,9c et le mélange des isomères 9c,11c + 11t,13c représentent des proportions faibles (inférieures à 0,05 % des AG totaux) hors supplémentation lipidique (Chilliard et Ferlay, 2004 ; Ferlay *et al.*, 2003 b).

#### AGPI octadécatriénoïques

Dans la base de données, les teneurs en ALA sont faibles et significativement plus élevées chez la brebis (1,41 ± 0,18 % des AG totaux) que chez la chèvre (0,54 ± 0,09 % des AG totaux). Ces valeurs basses reflètent une alimentation préférentielle des ovins laitiers au pâturage dans la mesure où ce type de système d'alimentation contribue à des ingestions importantes d'ALA. Ainsi, les données de Žan *et al.* (2006) montrent que des chèvres au pâturage peuvent présenter des teneurs relativement élevées en ALA, atteignant 0,9 % des AG totaux du lait. Du fait des teneurs moyennes comparables en LA entre les deux espèces et des différences pour l'ALA, le rapport LA/ALA de la MG laitière est plus élevé chez la brebis que chez la chèvre. Cependant, il faut mentionner que dans le cas de la chèvre, ce rapport reste généralement dans la plage recommandée (Afssa, 2003).

#### AGPI-LC des séries n-6 et n-3

Dans les deux espèces, les proportions de l'ARA (moins de 0,2 % des AG totaux), de l'EPA, du DPA et du DHA sont toujours très faibles (moins de 0,1 % des AG totaux).

En conclusion, il existe des différences mineures entre les deux espèces pour la composition en AG du lait, les principales étant liées à proportions plus élevées des AGS ayant de 10 à 14 C chez les chèvres que chez les brebis, et à des proportions plus faibles chez la chèvre des AG *trans* 18:1 (principalement l'isomère 11t) et de l'isomère 9c,11t du 18:2.

### **1.2.3. Modification de la composition en AG de la MG laitière par l'alimentation**

#### **1.2.3.1. Effet d'une alimentation au pâturage**

Les petits ruminants sont largement utilisés pour leur capacité de valorisation de pâturages, ces derniers étant de qualité très diverse. Dans la base de données, les données concernant les effets du pâturage sur le profil en AG du lait sont plus nombreuses chez les brebis (39 % des lots expérimentaux) que chez les chèvres (12 % des lots expérimentaux). Par ailleurs, la majorité des données font référence à des pâturages de pays méditerranéens, de bonne valeur nutritionnelle durant la phase de croissance des végétaux mais qui diminue rapidement durant leur phase de fructification ; peu de données sur des pâturages de régions moins sèches sont actuellement disponibles dans les deux espèces.

#### 1.2.3.1.1. AGPI-LC des séries n-6 et n-3

Les laits de brebis et de chèvres au pâturage contiennent des quantités très faibles d'AGPI-LC, moins de 0,04 % des AG totaux (Tsiplakou *et al.*, 2006).

#### 1.2.3.1.2. Profil en AGPI *cis* et CLA

Du fait que l'herbe verte est généralement riche en AG et avec une concentration élevée en ALA, les valeurs les plus élevées de cet AG dans le lait de brebis sont rapportées avec des rations à base de pâturage seul ( $1,65 \pm 0,64$  % des AG totaux) ou de pâturage associé avec des aliments concentrés non enrichis en lipides ( $0,99 \pm 0,41$  % des AG totaux). Dans la base de données, les rations sans herbe verte présentent les valeurs les plus faibles pour l'ALA dans le lait de brebis ( $0,81 \pm 0,40$  % des AG totaux) sauf lors de supplémentation par des lipides sous forme de graine ou d'huile de lin (cf. *infra*). Chez la chèvre, la même tendance est observée, les rations exclusivement à base d'herbe induisant des proportions en ALA dans le lait ( $0,83 \pm 0,12$  % des AG totaux) significativement supérieures à celles obtenues avec des rations sèches ( $0,52 \pm 0,25$  % des AG totaux). Cependant, la distribution à l'auge de ray-grass vert (zéro-pâturage) n'a pas permis d'augmenter la proportion de l'ALA par rapport à du foin de ray-grass ou de luzerne chez la chèvre (Chilliard *et al.*, 2006 a), probablement en raison de différences de biohydrogénation ruminale et/ou de digestibilité entre les rations. Par ailleurs, la transition alimentaire de rations hivernales à base de fourrages conservés vers le pâturage induit dans les deux espèces un accroissement de l'ALA (Tsiplakou *et al.*, 2006).

La proportion de l'ALA dans le lait de brebis au pâturage varie essentiellement en fonction de la teneur de cet AG dans le fourrage ou dans l'association de fourrages pâturés. Les teneurs en ALA dans les fourrages pâturés (Cabiddu *et al.*, 2005) sont fonction de leur nature botanique (légumineuses  $\geq$  graminées) ainsi que du stade physiologique du végétal (croissance  $\geq$  reproduction). Ainsi, l'accroissement d'1 g d'ALA/kg MSI dans la ration pâturée accroît son pourcentage dans le lait chez la brebis de  $0,32 (\pm 0,17 ; n_{exp}=4, n_{obs}=12, \text{etr}=0,6$  % des AG totaux). En conséquence, des fromages issus de lait de brebis ont également des proportions en ALA linéairement liées à la teneur en ALA des fourrages pâturés (Cabiddu *et al.*, 2006 b). La variabilité résiduelle de la relation ci-dessus est probablement liée à des différences d'amplitude de la biohydrogénation ruminale de l'ALA provenant soit de teneurs différentes de glucides solubles et de parois végétales entre les différents pâturages étudiés, soit de leur teneur en tannins qui inhibent la biohydrogénation ruminale. Les prairies naturelles de zones arides ou semi-arides présentent en effet des valeurs nutritionnelles médiocres du fait de la réduction de la protéosynthèse ruminale liée à la teneur élevée en tannins.

Il n'existe aucune donnée rapportant les variations des AGPI octadécatriénoïques conjugués, en dépit de leur présence dans des laits de brebis alimentées au pâturage (Banni *et al.*, 1996).

#### 1.2.3.1.3. AGPI 18:2

##### AG non conjugués

Les rations à base de pâturage modifient faiblement la proportion du LA du lait dans les deux espèces. Les brebis alimentées avec du pâturage seul, ou complémenté avec des aliments concentrés non enrichis en lipides produisent des laits dont les proportions de LA sont plus faibles ( $2,53 \pm 0,65$  % des AG totaux et  $2,47 \pm 0,64$  % des AG totaux) que celles des laits issus de rations sans pâturage ( $3,10 \pm 1,12$  % des AG totaux), souvent en raison de l'apport d'aliments concentrés riches en LA.

Lorsque la ration est exclusivement constituée d'herbe pâturée, la teneur en LA du lait est cependant directement liée à celle de la prairie (Cabiddu *et al.*, 2006 a), l'accroissement d'1 g de LA/kg MSI accroît son pourcentage dans le lait de 0,54 ( $\pm 0,05$ ,  $n_{exp}=4$ ;  $n_{obs}=12$ ,  $etr=0,17$  % des AG totaux) ; le coefficient de cette relation, plus élevé que pour l'ALA, reflète une moindre hydrogénation ruminale pour le LA que pour l'ALA. Le rapport LA/ALA de la MG laitière présente les valeurs les plus basses chez les brebis et les chèvres pour les rations de pâturage seul ( $1,59 \pm 0,75$  et  $2,80 \pm 0,55$ , respectivement) en comparaison des systèmes alimentaires combinant pâturage et aliments concentrés non enrichis en lipides ( $2,86 \pm 1,41$  et  $4,29 \pm 0,26$ , respectivement) ou des systèmes n'ayant pas recours à l'herbe, hors supplémentation en AGPI n-3 ( $5,23 \pm 5,33$  et  $6,58 \pm 7,84$ , respectivement).

Dans les deux espèces, il n'existe aucune donnée rapportant les variations des autres 18:2 non conjugués dus au pâturage.

#### AG conjugués

Dans la mesure où les rations à base de pâturage contiennent des proportions variables de LA considéré comme l'un des précurseurs du 18:2 9c,11t du lait, de nombreuses études se sont focalisées sur les effets du pâturage sur les CLA du lait, en particulier chez la brebis. La proportion du 18:2 9c,11t est plus forte dans le lait chez les brebis alimentées avec des rations à base de pâturage seul ( $1,60 \pm 0,53$  % des AG totaux) ou de pâturage associé à des concentrés non enrichis en lipides ( $1,31 \pm 0,61$ ), qu'avec des rations sans herbe verte ( $0,62 \pm 0,31$ ). A l'inverse, chez la chèvre, les proportions en 18:2 9c,11t du lait sont les plus faibles avec une alimentation exclusivement fondée sur le pâturage seul ( $0,49 \pm 0,12$  % des AG totaux) ou avec des rations sèches ( $0,54 \pm 0,92$  % des AG totaux) en comparaison à des rations complémentées avec des concentrés non enrichis en lipides ( $0,72 \pm 0,11$  % des AG totaux). Par ailleurs, la distribution à l'auge de ray-grass vert (zéro-pâturage) n'a pas modifié la proportion de 18:2 9c,11t par rapport à du foin de ray-grass ou de luzerne (Chilliard *et al.*, 2006 a). Ces différences entre espèces tiennent d'une part au faible nombre de données pour le 18:2 9c,11t pour les chèvres au pâturage (Tsiplakou *et al.*, 2006), et d'autre part que les quantités de concentrés distribuées dans les deux espèces ne sont pas identiques, du fait des niveaux de performances de production laitière plus élevés chez les chèvres que chez les brebis. Ces éléments pris en compte, il apparaît néanmoins qu'au pâturage, les brebis produisent des quantités de 18:2 9c,11t significativement plus élevées que les chèvres (Jahreis *et al.*, 1999).

Les variations du 18:2 9c,11t du lait de brebis sont essentiellement liées à celles du LA dans les fourrages pâturés. La variation des teneurs en LA des pâturages tient pour partie à leur nature botanique (Cabiddu *et al.*, 2006 a) mais surtout au stade végétatif lors de leur exploitation (Cabiddu *et al.*, 2005) : le vieillissement du végétal entre le stade de croissance et celui de la reproduction accroît la teneur en parois végétales et il réduit celle du LA ce qui peut modifier la biohydrogénation ruminale. Ainsi, l'accroissement d'1 g LA/kg MSI de ration pâturée augmente la proportion du 18:2 9c,11t dans le lait de 0,38 point ( $\pm 0,08$ ,  $n_{exp}=4$ ,  $n_{obs}=12$ ,  $etr=0,29$  % des AG totaux). La comparaison des données obtenues avec ou sans pâturage montre néanmoins qu'à même teneur en LA, les proportions du 18:2 9c,11t dans le « lait de pâturage » sont plus élevées que celles obtenues avec des rations sèches.

L'isomère 18:2 10t,12c, indétectable dans le lait de brebis recevant des rations sèches, devient mesurable lors de la mise au pâturage (Nudda *et al.*, 2005 ; Tsiplakou *et al.*, 2006) pour atteindre des valeurs moyennes de  $0,09 \pm 0,08$  % des AG totaux, soit entre 3 et 15 % des CLA totaux. Dans le lait de la chèvre au pâturage ou en zéro-pâturage, cet isomère n'est jamais détectable (Tsiplakou *et al.*, 2006 ; Chilliard *et al.*, 2006 a). Aucun autre isomère c/t ou t/c du 18:2 n'a été rapporté chez la brebis ou la chèvre.

#### 1.2.3.1.4. Profil en AGMI

Dans la base de données, les plus fortes proportions en *trans* 18:1 du lait de brebis correspondent aux données obtenues au pâturage ( $5,70 \pm 1,14$  % des AG totaux) comparativement aux rations sans herbe ( $3,43 \pm 2,47$  % des AG totaux). Parmi les isomères positionnels, le 11*t* est majoritaire ( $3,34 \pm 1,45$ ,  $3,31 \pm 2,25$  et  $2,05 \pm 0,88$  % des AG totaux pour les rations avec herbe, avec herbe et aliments concentrés, et les rations sans pâturage, respectivement). Chez la brebis au pâturage, les isomères 6*t*+7*t*+8*t*, 9*t* et 18:1 10*t* du lait sont rarement rapportés (Nudda *et al.*, 2005 ; Valvo *et al.*, 2005), les autres isomères n'étant jamais mentionnés.

Chez la chèvre au pâturage, seules des données concernant l'isomère 11*t* sont disponibles (Nudda *et al.*, 2003) et rapportent des valeurs faibles (0,9 à 1,3 % des AG totaux). Il en est de même chez la chèvre en zéro-pâturage (0,7 % des AG totaux ; Chilliard *et al.*, 2006 a).

#### 1.2.3.1.5. Profil en AGS

Dans la base de données, la proportion des AGS dans le lait des deux espèces n'est pas modifiée par le pâturage comparé aux rations à base d'herbe complétées avec des concentrés (supplémentés ou non en lipides) ou aux rations sans herbe. Cette situation reflète chez les brebis et les chèvres l'absence de modification importante des AGS à courte chaîne ou à chaîne moyenne, ainsi que du 16:0 et du 18:0 entre ces types de rations, bien que les proportions de tous ces AG soient numériquement plus faibles pour les laits issus de rations à base de pâturage, à l'exception du 18:0 qui tend à augmenter dans les deux espèces. Ces données diffèrent en partie de celles obtenues chez les vaches pour lesquelles le pâturage réduit les teneurs en acides palmitique et myristique.

#### 1.2.3.2. Effet de la nature des fourrages stockés

Les effets spécifiques de la nature du fourrage de la ration de base et/ou de son traitement technologique sont difficiles à quantifier, dans la mesure où la majorité des rations distribuées chez les petits ruminants sont à base de foin et le nombre d'espèces végétales étudiées relativement limité.

En ne considérant que les rations non supplémentées en lipides, les proportions en ALA du lait reflètent celles des foins : les rations à base de foin de légumineuses ou de graminées induisent chez les chèvres et les brebis des teneurs en ALA, respectivement, de  $0,66 \pm 0,37$  % des AG totaux et  $0,51 \pm 0,33$  % des AG totaux. Concernant les ensilages, les seules données existantes indiquent des valeurs relativement basses en ALA pour les laits issus d'ensilage de ray-grass (ALA = 0,60 % des AG totaux, Rapetti *et al.*, 2002) ou d'ensilage de maïs (ALA = 0,2 à 0,4 % des AG totaux, Chilliard *et al.*, 2006 a ; Reynolds *et al.*, 2006).

Des proportions identiques du LA dans le lait de chèvre ou de brebis ont été obtenues dans la base de données pour les rations à base de foin de légumineuses et pour celles à base de foin de graminées (environ 3 %  $\pm$  1,70 % des AG totaux). Les rations à base d'ensilage de maïs, plus riches en LA, ne se traduisent pas par des niveaux plus élevés de cet AG ( $2,22 + 0,19$  % des AG totaux) comparativement aux foin ( $2,22 + 0,29$  % des AG totaux ; Chilliard *et al.*, 2003 et 2006 a). En parallèle, il existe peu de différences entre les foin de légumineuses ou de graminées pour la proportion du 18:2 9*c*,11*t* et en 18:1 11*t* du lait dans les deux espèces.

Par contre, les rations à base d'ensilage de maïs conduisent à des proportions élevées du 18:2 9*c*,11*t* chez la brebis et la chèvre (0,6 à 0,8 % des AG totaux) et du 18:2 10*t*,12*c* chez la brebis (Reynolds *et al.*, 2006). Ce type de fourrage induit également des proportions importantes du 18:1 10*t* (0,9 à 1,8 % des AG totaux) et du 18:1 11*t* (2 à 4,9 % des AG totaux) dans la matière grasse laitière de brebis (Reynolds *et al.*, 2006) ; chez la chèvre, les

valeurs obtenues pour ces deux isomères ne dépassent cependant pas 0,4 et 1,2 % des AG totaux, respectivement (Chilliard *et al.*, 2003 et 2006 a).

### 1.2.3.3. Effet du pourcentage de concentré

Il n'existe qu'un nombre limité de données étudiant quantitativement les effets du pourcentage de concentrés (hors son interaction avec les apports lipidiques, cf. *infra*) sur le profil en AG du lait chez la brebis (Mele *et al.*, 2006) ou la chèvre (Andrade et Schmidely, 2006 b ; Calderon *et al.*, 1984 ; Chilliard *et al.*, 2005 et 2006 a ; Ledoux *et al.*, 2002 ; Schmidely *et al.*, 2004).

La proportion des *trans* 18:1 totaux n'excède généralement pas 2 % des AG totaux pour des apports de concentrés inférieurs à 70 % MS ; elle peut néanmoins atteindre 4 % des AG totaux lors d'apport transitoire de rations contenant 100 % de concentré non enrichi en lipides (Calderon *et al.*, 1984). Dans la base de données, l'augmentation de 10 % de la MS de concentrés induit un accroissement significatif de 0,03 point ( $\pm 0,006$ ,  $n_{exp}=5$ ,  $nobs=10$ ) de la proportion des *trans* 18:1 totaux. Cette réponse est liée à l'accroissement de tous les isomères positionnels des *trans* 18:1 mais les variations du 18:1 11*t* (et consécutivement celle du 9*c*,11*t* qui n'excède pas 0,7 % des AG totaux) sont généralement faibles en comparaison du 18:1 10*t* qui peut atteindre 0,3 % des AG totaux. Les effets de l'apport de concentrés sur l'isomère 10*t*,12*c* des CLA apparaissent négligeables par ailleurs.

Les effets de l'apport de concentrés sur les AGPI n-6 et n-3 dans les deux espèces sont faibles : un accroissement de 10 % de la MS du concentré augmente de 0,01 point ( $\pm 0,005$ ,  $n_{exp}=4$ ,  $nobs=7$ ) la proportion de LA qui ne dépasse jamais 3 % des AG totaux et il réduit celle de l'ALA de 0,07 point ( $\pm 0,001$ ,  $n_{exp}=4$ ,  $nobs=7$ ). Ces variations sont essentiellement dues à l'utilisation de céréales ou de tourteau de soja, matières premières riches en LA et pauvres en ALA.

### 1.2.3.4. Effet des apports de lipides et interaction avec les autres constituants de la ration : pourcentage de concentré et nature des fourrages

#### 1.2.3.4.1. Les huiles de poissons et les algues marines

L'apport d'huiles de poisson ou d'algues d'origine marine peut être utilisé pour accroître les proportions de l'EPA, du DPA et du DHA dans le lait. Du fait de l'hydrogénation de ces AG dans le rumen et de leurs effets négatifs sur le fonctionnement ruminal, des formes de protection à base de savons de Ca ou de l'association protéines/formaldéhyde ont été également testées dans les deux espèces.

Chez la brebis, l'ingestion quotidienne de 0,5 à 1,5 g d'EPA ou de DPA et de 1 à 2 g de DHA sous forme d'huiles marines non protégées (Chikunya *et al.*, 2002 ; Mozzon *et al.*, 2002) accroît de façon linéaire mais modeste la proportion de ces AG dans le lait (entre + 0,2 et + 0,5 % pour chaque AG par rapport aux rations non supplémentées). L'apport alimentaire d'extraits d'algues riches en DHA (Papadopoulos *et al.*, 2002 ; Reynolds *et al.*, 2006) permet d'obtenir une proportion de cet AG comprise entre 1,5 et 2 % des AG totaux pour des ingestions de cet AG comprises entre 2 et 25 g/jour. Cependant, l'efficacité de transfert est relativement modeste et variable (6 à 20 %), correspondant à des teneurs du lait comprises entre 0,7 et 3,3 g de DHA/kg de lait en fonction de la quantité ingérée. Chez la chèvre, le nombre plus faible de lots expérimentaux (Gulati *et al.*, 1999 ; Kitessa *et al.*, 2001 ; Gagliostro *et al.*, 2006) permet cependant de montrer qu'il est possible d'augmenter le DPA d'un même ordre de grandeur que chez la brebis et d'accroître fortement le DHA jusqu'à plus de 1 % des AG totaux lors d'apport de 12 g/jour de DHA (Kitessa *et al.*, 2001).

Le transfert des AGPI-LC dans le lait s'avère plus efficace lorsque ces huiles sont protégées sous forme de savons de Ca ou encapsulées [Kitessa *et al.* (2003) chez la brebis ; Gulati *et al.* (1999), Kitessa *et al.* (2001), Sanz-Salmpelayo *et al.* (2002 et 2004) chez la chèvre]. En particulier, il est possible d'accroître fortement la proportion de l'EPA (+ 0,4 à

+ 0,8 % des AG totaux) et du DHA (+ 0,8 à + 1,9 % des AG totaux) chez la brebis, alors que chez la chèvre, leur accroissement dans le lait n'est que de 0,1 à 0,4 % des AG totaux pour l'EPA et de 0,2 à 1,4 % pour le DHA. Globalement, l'efficacité de transfert de ces AG de l'alimentation dans le lait reste comprise entre 10 et 20 % des AG ingérés.

Chez la brebis, la proportion des CLA totaux est systématiquement accrue par l'apport d'huiles de poisson (protégées ou non) jusqu'à des valeurs importantes (1,7 % des AG totaux  $\pm$  0,60) et plus modestement par l'apport d'extraits d'algues marines (+ 0,8 % des AG totaux  $\pm$  0,33). Parmi les CLA, c'est essentiellement l'isomère 9*c*,11*t* qui est accru, la proportion de l'isomère 10*t*,12*c* n'étant que faiblement accrue par l'apport d'algues marines et d'huile de soja (Reynolds *et al.*, 2006). Chez la chèvre, l'apport quotidien d'huile de poisson seule ou combinée à l'huile de tournesol accroît de + 5 points et + 9 points la proportion des CLA totaux par rapport à la ration sans lipides ajoutés : l'accroissement est dû à celui de l'isomère 9*c*,11*t* (10 % des AG totaux) alors que l'isomère 10*t*,12*c* demeure indétectable (Gagliostro *et al.*, 2006).

Des doses croissantes d'huiles de poisson non protégées induisent une augmentation linéaire des *trans* 18:1 totaux jusqu'à 6 % des AG totaux chez la brebis (Mozzon *et al.*, 2002) ou la chèvre (Kitessa *et al.*, 2001), la majeure partie de cet accroissement étant due à celui des isomères 10*t*+11*t* tandis que les isomères 6*t*+7*t*+8*t* et 9*t* sont faiblement accrus. L'apport d'algues marines combiné à l'huile de soja (Reynolds *et al.*, 2006) ou d'huile de poisson associée à de l'huile de tournesol (Gagliostro *et al.*, 2006) conduit à des proportions des *trans* 18:1 totaux de 22 % des AG totaux.

Dans la base de données, l'apport d'huiles de poisson non protégées chez la brebis tend à réduire de façon dose-dépendante la teneur en LA (- 0,59  $\pm$  0,40 % des AG totaux) et à accroître celle de l'ALA (+ 0,10  $\pm$  0,07 % des AG totaux) alors que la protection de ces huiles accroît l'ALA et modifie de façon variable le LA. Globalement, le rapport LA/ALA de la MG laitière chez la brebis passe de 6,18 ( $\pm$  3,9) pour des rations non supplémentées en huiles à 4,81 ( $\pm$  2,85) et 5,07 ( $\pm$  2,06) quand l'apport de lipides de poissons s'effectue sous forme libre ou protégée, respectivement. Ceci n'est toutefois pas observé chez la chèvre lorsque l'huile de poisson est pauvre en ALA (Gagliostro *et al.*, 2006).

Les AGS du 10:0 au 16:0 sont généralement réduits de façon forte par l'apport d'huiles de poisson non protégées. Le 18:0 est réduit systématiquement chez la chèvre et la brebis quelle que soit la forme d'apport d'huile ainsi que lors d'apport d'algues riches en DHA.

#### 1.2.3.4.2. Les apports alimentaires de CLA de synthèse

Contrairement aux vaches laitières, l'apport alimentaire de CLA de synthèse sous forme encapsulée n'a été que relativement peu étudié chez la brebis (Lock *et al.*, 2006 ; Sinclair *et al.*, 2007) et la chèvre (Erasmus *et al.*, 2004 ; Gulati *et al.*, 2000 ; Lock *et al.*, 2008).

Chez la brebis, un mélange équimolaire des isomères 9*c*,11*t* et 10*t*,12*c* des CLA apporté sous forme de sels de Ca (2,4 g de chaque isomère) induit une forte réduction du TB du lait (-15 g/l soit - 23% ; Lock *et al.*, 2006 ; Sinclair *et al.*, 2007) et un transfert significatif du 18:2 10*t*,12*c* qui peut atteindre 0,12 % des AG totaux du lait. D'autres CLA non caractérisés analytiquement (*t/t*, *c/t*, *c/c*) sont également présents dans le lait. Ce mélange de CLA induit également une réduction de tous les AGS du 6:0 au 16:0 et de l'activité  $\Delta$ 9-désaturase pour le 16:0, le 18:0 et le 18:1 11*t*.

Chez la chèvre, l'apport jusqu'à 4 g/j d'un mélange équimolaire des isomères 10*t*,12*c* et 9*c*,11*t* des CLA encapsulés (contenant 17 % de chacun des isomères) a peu d'effet sur la MG laitière (Erasmus *et al.*, 2004). Plus récemment (Lock *et al.*, 2008), des réductions de l'ordre de 5 à 18 % du TB (- 1,2 à - 5,5 g/l) ont été obtenues avec des apports très élevés de 18:2 10*t*,12*c* (3 à 6 g/j). Ceci est cohérent avec l'absence d'effet d'infusions sanguine ou duodénale de doses élevées de 18:2 10*t*,12*c* sur les AGS à chaîne moyenne du lait en dépit d'un transfert relativement efficace dans le lait (17 % du flux infusé dans le duodénum)

aboutissant à une proportion de 0,4 % des AG totaux pour cet isomère (Andrade et Schmidely, 2006 a). Des valeurs plus élevées du transfert du 10*t*,12*c* (20-30 %) dans le lait ont été rapportées lors d'apport d'un mélange de 10*t*,12*c* et 9*c*,11*t* protégés par encapsulation, induisant des proportions de 1,8 % et 2,2 % des AG totaux pour les deux isomères respectivement (Gulati *et al.*, 2000).

#### 1.2.3.4.3. Les apports alimentaires de matières grasses végétales

##### Profil en AGPI-18C et CLA

##### *Proportion de l'ALA*

Dans la base de données, l'accroissement de la proportion de l'ALA dans le lait de brebis ou de chèvre n'est généralement obtenu qu'avec un accroissement important des apports alimentaires de cet AG essentiellement sous forme de graines de lin et plus marginalement sous forme d'huiles de lin. Cependant, l'accroissement de cet AG reste modeste (tableaux 28 et 29), et compris entre + 0,58 % et + 0,84 % des AG totaux, soit un doublement de la valeur des témoins. Cette augmentation peut être cependant beaucoup plus importante (+ 2,6 % des AG totaux) lorsque la graine de lin est traitée par du formaldéhyde (Bernard *et al.*, 2005 b ; Wilkinson *et al.*, 2000). Par ailleurs, les effets des traitements physiques apparaissent variables même si l'extrusion de la graine de lin induit des teneurs en ALA soit légèrement supérieures à celles obtenues à partir de graines entières (Rondia *et al.*, 2005), soit nettement supérieures (+ 1,9 % des AG totaux) à celles permises par l'huile (+ 0,9 à 1,3 % des AG totaux) ou les graines crues (+ 0,8 % des AG totaux) (Chilliard *et al.*, 2003 ; Chilliard et Ferlay, 2004). Comparativement au lin, l'apport de graines de colza brutes ou traitées par le formaldéhyde permet un accroissement modeste mais significatif de la teneur en ALA du lait (Gulati *et al.*, 1997). A l'inverse, les rations contenant des sels de Ca d'huile de palme ou d'huile d'olive, d'huile de soja, de colza ou de tournesol conduisent à l'absence de modifications voire à des réductions de la proportion en ALA du lait. L'effet négatif de l'huile de tournesol sur l'ALA du lait est plus marqué avec un régime riche en concentré (Chilliard *et al.*, 2007).

Dans la base de données, l'accroissement d'1 g ALA/kg MSI dans la ration accroît en moyenne son pourcentage dans le lait de 0,07 point ( $\pm 0,006$ ,  $n_{exp}=13$ ,  $n_{obs}=33$ ,  $etr=0,14$  % des AG totaux). La pente de cette relation est environ 4 fois moins élevée que celle obtenue pour les rations à base de pâturage, indiquant une plus faible hydrogénation ruminale de cet AG dans les rations à base d'herbe. Ceci est en accord avec le fait que les réponses de l'ALA du lait à un même apport d'huile de lin sont plus faibles avec des rations riches en concentré ou en ensilage de maïs, qu'avec des rations à base de foin (Chilliard *et al.*, 2006 a).

**Tableau 28 : Effet de l'apport d'huiles végétales protégées ou non sur la variation des proportions (Ecart entre lots recevant des huiles et lots témoins, % des AG totaux) de certains AG dans le lait chez la brebis et la chèvre<sup>1</sup>.**

Nature huile	Palme	Olive	Soja	Tournesol	Tournesol	Colza	Lin	Lin
Présentation	Sels de Ca	Sels de Ca	Huile	Huile	Protégée	Huile	Huile	Protégée
ALA	- 0,06 ± 0,17 (0,53) [6]	- 0,02 ± 0,17 (0,91) [6]	- 0,37 ± 0,04 (0,93) [2] *	- 0,20 ± 0,12 (0,55) [9] *	- 0,01 ± 0,02 (0,65) [3]	+ 0,01 ± 0,05 (0,65) [3]	+ 0,58 ± 0,27 (0,52) [12] *	0,06 (1,00) [1]
LA	+ 0,17 ± 0,42 (2,83) [6]	+ 0,09 ± 0,33 (3,15) [6]	+ 0,33 ± 0,33 (2,27) [2]	- 0,02 ± 0,89 (2,05) [9]	+ 0,59 ± 0,15 (1,17) [3] *	-	- 0,81 ± 0,55 (2,32) [12] *	+ 0,19 (2,41) [1]
18:2 9c,11f	- 0,05 (0,55) [1]	-	+ 1,53 ± 0,43 (0,48) [2] †	+ 1,71 ± 1,76 (0,60) [9] *	-	+ 1,66 ± 0,69 (1,00) [3] *	+ 2,69 ± 0,65 (0,56) [12] *	-
trans 18:1	-	-	+ 7,80 ± 1,12 (1,32) [2] †	-	-	-	-	-
18:1 11f	-	-	+ 6,07 ± 1,21 (0,76) [2] †	+ 4,64 ± 4,26 (0,94) [8] *	-	-	+ 6,96 ± 1,78 (0,93) [12] *	-
18:1 10f	-	-	+ 0,56 ± 0,12 (0,18) [2] †	+ 1,24 ± 0,82 (0,19) [8] *	-	-	+ 0,76 ± 0,88 (0,20) [12] *	-
18:1 9f	-	-	+ 0,29 ± 0,07 (0,11) [2]	-	- 0,41 ± 0,46 (1,39) [3]	-	-	-
18:1 9c	+ 0,90 ± 4,27 (26,60) [3]	+ 7,47 ± 2,38 (13,39) [5] *	+ 2,63 ± 0,97 (10,76) [2]	+ 7,07 ± 4,71 (15,50) [9] *	-	+ 4,82 ± 2,46 (18,82) [3] †	- 0,05 ± 1,45 (15,24) [12]	- 1,56 (24,70) [1]
18:0	+ 0,40 ± 0,87 (13,82) [9]	+ 2,03 ± 0,82 (7,69) [8]	+ 1,75 ± 0,08 (5,80) [2]	+ 6,11 ± 2,22 (6,35) [8]	+ 2,95 ± 1,65 (5,71) [3]	+ 0,38 ± 0,16 (5,93) [3]	+ 3,57 ± 0,96 (6,26) [12]	+ 4,35 (9,96) [1]
16:0	+ 3,11 ± 3,25 (28,52) [9] *	- 0,71 ± 2,58 (24,43) [8]	- 6,44 ± 0,58 (25,08) [2] *	- 10,36 ± 3,59 (29,03) [5] *	- 2,15 ± 1,18 (21,63) [3] †	- 3,83 ± 1,08 (27,34) [3] *	- 11,83 ± 3,21 (29,43) [4] *	- 1,78 (28,07) [1]
10:0 + 12:0 + 14:0	- 6,35 ± 4,87 (26,54) [6] *	- 6,84 ± 3,18 (28,59) [8] *	- 9,48 ± 0,76 (21,71) [2] *	- 7,71 ± 0,10 (26,23) [3] *	- 5,94 ± 1,64 (31,59) [3] †	- 1,80 ± 1,85 (27,86) [3]	- 8,15 ± 1,48 (26,00) [2] †	- 3,43 (25,47) [1]
4:0 + 6:0 + 8:0	- 1,50 ± 2,14 (8,78) [6]	- 1,29 ± 0,37 (11,28) [2]	- 1,03 ± 0,23 (9,12) [2] †	- 0,35 ± 0,25 (7,19) [3] †	- 2,84 ± 2,20 (20,46) [3]	0,07 ± 0,15 (6,13) [3]	0,05 ± 0,64 (7,20) [2]	-

<sup>1</sup>Données présentées par écart au témoin +/- ET. ( ) : valeur du témoin. [ ] : nombre de comparaisons entre lots témoins et lots recevant des graines. Les données accompagnées des symboles † ou \* sont respectivement significatives au seuil P < 0,10 ou P < 0,05 (au moins).

**Tableau 29 : Effet de l'apport de graines végétales protégées ou non sur la variation des proportions (Ecart entre lots recevant des graines et lots témoins, % des AG totaux) de certains AG dans le lait chez la brebis et la chèvre<sup>1</sup>**

Nature	Soja	Tournesol	Colza	Lin	Lin
Forme	Graine	Graine	Graine	Graine	Protégée
ALA	+ 0,07 ± 0,05 (0,50) [9] *	+ 0,30 ± 0,28 (0,80) [2]	+ 0,43 ± 0,38 (0,44) [6] *	+ 0,84 ± 0,78 (0,65) [11] *	+ 2,57 ± 1,73 (0,96) [2] †
LA	+ 1,15 ± 0,89 (2,32) [9] *	+ 1,80 (2,30) [1]	+ 0,52 ± 0,76 (2,54) [5] †	+ 0,14 ± 0,63 (2,37) [8]	- 0,07 (1,99) [1]
18:2 9c,11t	+ 0,25 ± 0,26 (0,48) [5] †	+ 0,73 ± 0,67 (0,73) [4] †	+ 0,48 ± 0,26 (0,62) [5]	+ 0,46 ± 0,69 (0,91) [9] *	+ 0,32 (0,77) [1]
trans 18:1	+ 1,56 ± 0,74 (1,46) [4] *	+ 0,90 (1,50) [1]	+ 2,83 ± 2,74 (1,39) [2]	+ 1,12 ± 0,42 (1,50) [4] *	
18:1 11t	- 0,07 (0,71) [1]	+ 0,60 (0,90) [1]	+ 0,39 ± 1,67 (0,78) [4]	+ 1,78 ± 2,09 (1,81) [6] †	-
18:1 10t	-	-	+ 0,30 ± 0,25 (0,20) [2]	+ 0,24 ± 0,24 (0,52) [4] †	
18:1 9t	-	+ 0,30 (0,10) [1]	+ 0,28 ± 0,20 (0,17) [2]	+ 0,08 ± 0,09 (0,27) [4]	-
18:1 9c	+ 5,07 ± 1,56 (13,69) [6] *	+ 3,00 (15,60) [1]	+ 4,75 ± 2,14 (18,62) [5] *	+ 0,98 ± 3,16 (17,11) [7]	+ 5,43 (16,41) [1]
18:0	+ 5,97 ± 2,28 (7,27) [9] *	+ 6,80 (13,00) [1]	+ 2,17 ± 3,64 (9,15) [5]	+ 3,07 ± 3,25 (8,00) [10] *	+ 6,01 ± 0,86 (7,21) [2] †
16:0	- 6,65 ± 3,33 (32,24) [8] *	- 4,40 (25,20) [1]	- 6,47 ± 3,60 (29,65) [3] *	- 4,82 ± 6,39 (30,98) [7] †	- 13,39 ± 8,08 (32,94) [2]
10:0 + 12:0 + 14:0	- 5,13 ± 1,82 (27,17) [7] *	- 6,90 (22,10) [1]	- 4,68 ± 0,16 (27,13) [2] *	- 3,90 ± 2,87 (21,80) [4] †	- 7,20 (26,69) [1]
4:0 + 6:0 + 8:0	- 0,47 ± 0,43 (12,03) [3]	- 2,30 (7,90) [1]	+ 0,19 ± 0,13 (6,30) [2]	- 1,77 ± 1,32 (8,71) [2]	+ 0,68 (7,16) [1]

1. Données présentées par écart au témoin +/- ET. ( ) : valeur du témoin. [ ] : nombre de comparaisons entre lots témoins et lots recevant des graines. Les données accompagnées des symboles † ou \* sont respectivement significatives au seuil P < 0,10 ou P < 0,05 (au moins).

#### Proportion du LA

Un accroissement de la proportion du LA dans le lait de brebis ou de chèvre n'est obtenu qu'avec de l'huile de tournesol ou avec des graines riches en cet AG comme la graine de soja ou de tournesol (tableaux 28 et 29). Même avec ces graines, l'accroissement maximal observé est compris entre 0,5 et 1,8 % (Bernard *et al.*, 2005 a ; Chilliard *et al.*, 2003 ; Schmidely *et al.*, 2005). De façon globale, l'accroissement d'1 g de LA/kg MSI dans la ration accroît en moyenne son pourcentage dans le lait de 0,07 (± 0,015, nexp=13, nobs=32, etr=0,15 % des AG totaux). En conséquence, le rapport LA/ALA de la MG laitière présente les accroissements les plus élevés avec l'huile de tournesol (+ 3,13 points ± 2,94), l'huile de soja (2,00 ± 0,08) ou la graine de soja (+ 1,36 ± 1,18). A l'inverse, l'huile de lin, la graine brute de lin, la graine de lin protégée et la graine de colza diminuent ce rapport de - 4,09 (± 2,80), - 1,72 (± 1,25), - 2,05 (± 1,15) et - 1,8 (± 2,9) points, respectivement. Les sels de Ca

d'huile de palme ou d'olive, les apports d'huile de colza ou de graine de tournesol n'ont que peu d'effet sur les variations du rapport LA/ALA du lait.

#### Proportion des CLA

La proportion de l'isomère 9*c*,11*t* des CLA est fortement augmentée par l'apport d'huiles végétales sous forme libre, les accroissements les plus élevés étant obtenus par ordre décroissant avec l'huile de lin, de tournesol, de colza, et de soja (tableau 28). La forte variabilité des réponses du 9*c*,11*t* du lait tient pour partie à l'apport du LA dans la ration, ainsi qu'à l'interaction entre la quantité de LA alimentaire et certains autres facteurs alimentaires comme la proportion et la nature du concentré, ou le type du fourrage de la ration de base ou son mode de conservation. Ainsi, l'accroissement de l'isomère 18:2 9*c*,11*t* par l'apport d'huiles de lin ou de tournesol chez la chèvre (Bernard *et al.*, 2005 c ; Chilliard *et al.*, 2006 a) est toujours plus important avec les proportions faibles à modérées de concentrés (comprises entre 20 et 50 % de la MS de la ration) et peut dépasser 5 % des AG totaux avec un apport de 6 % d'huile de tournesol. A l'inverse, dans un essai unique chez la brebis (Mele *et al.*, 2006), l'accroissement du 18:2 9*c*,11*t* semble d'autant plus fort que la proportion de concentrés est importante. Chez la chèvre, la moindre réponse du 18:2 9*c*,11*t* du lait à l'apport d'huile pour les forts pourcentages de concentrés correspond probablement à une modification de la biohydrogénation ruminale conduisant à accroître la proportion du 18:1 10*t* au détriment du 18:1 11*t* avec les forts pourcentages de concentrés (cf. *infra*). Ces modifications de la biohydrogénation ruminale sont probablement aussi responsables des plus faibles proportions de cet isomère observées chez les chèvres alimentées avec des concentrés à dégradation rapide dans le rumen en comparaison à une alimentation avec des concentrés à dégradation lente (Bernard *et al.*, 2005 c). Par ailleurs, le fourrage de la ration de base influence l'amplitude de l'accroissement du 18:2 9*c*,11*t* du lait après complémentation par de l'huile de lin ou de tournesol : les rations à base d'ensilage de maïs induisent des réponses plus faibles que celles permises par les rations à base de foin de luzerne ou de ray-grass (Chilliard *et al.*, 2006 a), du fait d'un accroissement déjà important de cet isomère avec les rations à base d'ensilage de maïs. Enfin, l'accroissement du 18:2 9*c*,11*t* en réponse aux apports d'huile apparaît stable dans le temps (Chilliard *et al.*, 2006 a) ce qui diffère des données sur les vaches laitières.

La proportion des autres isomères *c/t* ou *t/c* des CLA a été peu rapportée lors d'apport d'huiles végétales chez la chèvre ou la brebis. Chez la brebis (Mele *et al.*, 2006), tous les isomères *t/c* ou *c/t* des CLA identifiés sont accrus par l'apport d'huile de soja, en particulier les isomères 10*t*,12*c* et 11*t*,13*c* lorsque l'apport de concentrés est accru dans la ration ; cependant, les variations de cet isomère sont très faibles, l'isomère 18:2 7*t*,9*c* le plus fortement modifié (hormis le 18:2 9*c*,11*t*, cf. *supra*) ne dépassant pas 0,11 % des AG totaux. Chez la chèvre, la somme des isomères 9*c*,11*c* + 11*t*,13*c* peut atteindre 0,8 à 1,1 % des AG totaux avec des rations supplémentées en huile de lin (Chilliard et Ferlay, 2004) et le 7*t*,9*c* atteint 0,12 % des AG totaux avec de l'huile de tournesol oléique (Ferlay *et al.*, 2003 b).

Bien que significatifs, les effets de l'apport des différentes graines apparaissent plus faibles que ceux des huiles sur la proportion de l'isomère 18:2 9*c*,11*t* (tableaux 28 et 29), dans la mesure où la graine sous forme entière induit une libération lente des AGPI qui peuvent être ainsi plus fortement hydrogénés en 18:0 ce qui entraîne une augmentation des proportions de 18:0 et 18:1 9*c* du lait (Chilliard *et al.*, 2003). Dans ces conditions, l'accroissement des proportions du 18:2 9*c*,11*t* le plus élevé est obtenu avec la graine de tournesol. La protection de la graine de lin par le formaldéhyde conduit à un accroissement du 18:2 9*c*,11*t* faible chez la chèvre (Bernard *et al.*, 2005 b) et d'amplitude identique à celui obtenu avec la graine non traitée. Par ailleurs, les effets du traitement physique apparaissent peu importants, même si l'extrusion de la graine (lin) conduit à des valeurs du 18:2 9*c*,11*t* plus élevées que les graines entières (Rondia *et al.*, 2005) mais plus faibles qu'avec l'huile (Chilliard *et al.*, 2006 a). Peu d'études ont cherché à caractériser l'interaction entre l'apport de graines et les autres constituants de la ration : chez la chèvre, l'accroissement de la

teneur du 18:2 9c,11t lors d'apport de graines de colza est d'autant plus important que la proportion de concentré dans la ration est élevée (Andrade et Schmidely, 2006 b).

La proportion de l'isomère 18:2 10t,12c dans le lait est également accrue avec des graines de lin ou de tournesol chez la brebis pour atteindre des valeurs étonnement élevées jusqu'à 0,2 % des AG totaux (Zhang *et al.*, 2006 a et b). Les autres isomères des CLA n'ont été que rarement déterminés chez la brebis lors de la supplémentation par des graines. Par ailleurs, il n'existe pas de données rapportant les proportions des autres isomères des CLA chez la chèvre dont la ration est supplémentée par des graines d'oléo-protéagineux.

#### Profil des AG *trans*

La proportion des AG *trans* à 16 C n'a pas été rapportée chez la chèvre ou la brebis lors d'apport d'huiles végétales. La proportion des *trans* 18:1 totaux est fortement accrue par l'apport de lipides sous forme d'huile de soja non protégée (tableau 28) ou de lin non protégée (Chilliard *et al.*, 2006 a). En général, l'isomère 18:1 11t est le plus fortement accru, en particulier avec l'huile de lin, de soja ou de tournesol : il est ainsi possible d'obtenir chez la chèvre des accroissements de la teneur en 18:1 11t compris entre 2 et 12 % des AG totaux dans le lait par l'apport d'huiles non protégées de la biohydrogénation ruminale. Des résultats similaires ont été obtenus chez la brebis alimentée avec des rations supplémentées en huile de soja au sein de rations contenant 20 à 40 % de concentré (Mele *et al.*, 2006). La variation de l'accroissement du 18:1 11t dans le lait avec l'apport d'huile est modulée par le pourcentage de concentré de la ration et la nature de sa fraction amylicée ainsi que par le type de fourrages utilisés. Ainsi, l'augmentation de l'aliment concentré (> 50 % MS) au sein de rations enrichies en AGPI modifie la biohydrogénation ruminale des AG alimentaires, en favorisant préférentiellement la formation de 18:1 10t ruminal ce qui conduit à augmenter la proportion de cet isomère dans les AG du lait et à réduire l'accroissement du 18:1 11t obtenu avec de l'huile de tournesol (Bernard *et al.*, 2005 c ; Chilliard *et al.*, 2006 a). Parallèlement, il est possible d'obtenir de forts accroissements de la teneur en 18:1 10t lorsque la supplémentation lipidique à base d'huile de tournesol oléique s'effectue sur des rations à base d'ensilage de maïs, l'isomère 18:1 10t devenant l'isomère majoritaire comparativement au 18:1 11t en comparaison à des rations à base de foin de prairie naturelle ou de luzerne (Chilliard *et al.*, 2007). Il est ainsi possible d'obtenir des laits dont la teneur en 18:1 10t est comprise entre 2,5 et 3,5 % des AG totaux par la combinaison d'apport d'huiles (tournesol, lin) et de rations à base d'ensilage de maïs ou à base de foin et contenant plus de 50 % de concentrés (Chilliard *et al.*, 2007). Par ailleurs, il a été montré que la nature de l'aliment concentré influençait le rapport 10t/11t du lait qui est accru par les concentrés riches en amidon rapidement dégradable par rapport à un amidon lentement dégradable (Bernard *et al.*, 2005 c).

Les autres isomères de configuration *trans* du 18:1 ont été peu renseignés lors d'apport d'huiles végétales. Le mélange des isomères 6t + 7t + 8t et le 9t du 18:1 sont systématiquement accrus par l'apport d'huile de soja chez la brebis (Mele *et al.*, 2006).

Comparativement à l'apport d'huiles végétales, les variations des proportions des différents isomères des *trans* 18:1 totaux sont d'ampleur plus modérée lors d'apport de graines (tableaux 28 et 29) du fait d'une libération plus lente des AGPI permettant une biohydrogénation plus complète.

#### Profil des AG *cis*

Les données disponibles suggèrent que les sels de Ca d'huile de palme ou d'olive ne modifient pas la proportion de ces AG dans le lait (Rappeti *et al.*, 2002 ; Dobarganes Garcia *et al.*, 2005). Inversement, les huiles non protégées de la biohydrogénation ruminale, les

graines de soja extrudées ou de lin protégées réduisent faiblement le 14:1 9c et le 16:1 9c chez la brebis ou la chèvre (Bernard *et al.*, 2005 b ; Mele *et al.*, 2006).

Parmi les AG *cis*, le 18:1 9c est celui dont la proportion est la plus variable en réponse à l'apport de matières grasses chez la brebis ou la chèvre. Sa proportion dans le lait est ainsi fortement accrue (tableau 28) par l'apport d'huile de tournesol et par l'apport d'huile de colza, du fait de la richesse de ces matières premières en cet AG. De même, des réponses de + 8,3 à + 11,1 % des AG totaux ont été observées avec des graines de lupin ou de l'huile de tournesol oléique, respectivement (Chilliard et Ferlay, 2004). L'apport de ces lipides sous forme de graines conduit généralement à des accroissements du 18:1 9c inférieurs ou égaux à ceux induits par les huiles (tableau 29) mais l'inverse a été observé lors de comparaisons directes d'huiles et de graines de lin ou de tournesol (Chilliard *et al.*, 2003).

#### Profil en AGS

Les AG à chaînes courtes de 4 à 8 C sont en général peu modifiés par l'apport de lipides alimentaires du fait que leur voie de synthèse ne dépend pas exclusivement de l'acétyl-CoA-carboxylase mammaire qui est inhibée par les lipides alimentaires.

Les huiles végétales non protégées de la biohydrogénation ruminale réduisent de façon importante les proportions des AG du 10:0 à 14:0 (entre - 6 % et - 12 % des AG totaux) en fonction du degré d'insaturation initiale de l'huile. La protection des huiles polyinsaturées induit une moindre diminution des AG. Les sels de Ca d'huile de palme diminuent également les AG à chaîne moyenne, probablement par effet de dilution dans une plus grande quantité d'AG longs (16:0 et 18:0 ; cf. *infra*). L'effet d'inhibition des graines entières est inférieur à celui des huiles de même nature sauf pour la graine de lin protégée (Bernard *et al.*, 2005 b) pour laquelle la réduction de la proportion de ces trois AG est identique à celle obtenue avec l'huile de lin ainsi que dans les comparaisons directes huile-graine dans lesquelles il n'est pas observé de différences (Chilliard *et al.*, 2003).

L'apport de sels de Ca d'huile de palme riche en 16:0 accroît de façon modeste la proportion de cet AG dans le lait (tableau 28) alors que toutes les huiles riches en AGPI, protégées ou non réduisent cette proportion ; les huiles les plus efficaces étant celles dont le degré d'insaturation apparaît le plus élevé (lin et tournesol). Comme pour les AG à chaîne moyenne, la protection des huiles de lin ou de tournesol diminue leur effet inhibiteur sur la proportion du 16:0.

Ainsi, lorsque la somme des AGS contenant 10 à 16 C est considérée, il existe une marge importante de réduction de cette partie des AG : avec les huiles de soja, de tournesol ou de lin, la réduction de la somme des AG de 10 à 16 C est comprise entre - 14 et - 16 points (% des AG totaux). De façon comparable, l'utilisation de toutes les graines d'oléo-protéagineux induit également une diminution forte (entre - 9 et - 15 %) mais moins importante de cette fraction de la MG laitière, du fait d'une moindre teneur en lipides des rations contenant des graines en comparaison à celles contenant des huiles. Enfin, il faut noter que l'utilisation de savons de Ca d'huile de palme (et dans une moindre mesure d'huile d'olive) présente sur cette fraction des AG des effets de même nature mais d'amplitude moindre que ceux observés avec les huiles ou graines d'oléo-protéagineux.

Le 18:0 augmente dans le même sens que le 18:1 9c pour la majorité des apports lipidiques sous forme de graines ou d'huiles (tableaux 28 et 29) à l'exception de l'huile de lin libre ou sous forme de graine crue ou extrudée (Chilliard *et al.*, 2003 et 2006 a), ou protégée par des sels de Ca (Cenkvari *et al.*, 2005). Cependant, cet accroissement est proportionnellement plus important que celui du 18:1 9c traduisant une inhibition de l'activité de la  $\Delta 9$ -désaturase mammaire par les lipides végétaux polyinsaturés apportés sous forme de graine ou d'huile (Bernard *et al.*, 2006). Ceci n'est cependant pas observé avec les graines ou huiles riches en 18:1 9c (tableaux 28 et 29 et Chilliard et Ferlay, 2004) traduisant probablement un transfert direct d'une partie de cet AG de l'aliment au lait.

#### 1.2.4. Effet « animaux »

##### 1.2.4.1. Variants génétiques pour les caséines du lait

Le polymorphisme génétique pour le locus de la caséine  $\alpha$ S1 (CNS-S1, Grosclaude *et al.*, 1994) a été associé à des TP et des TB plus élevés chez les chèvres homozygotes présentant les allèles à fort taux de synthèse que chez celles présentant des taux de synthèse faibles voire nuls (variants défectifs). Ces modifications de la sécrétion de protéines et de lipides résultent des modifications du trafic intracellulaire mammaire des protéines chez les variants défectifs auxquelles sont associées des réductions de la sécrétion des lipides. L'étude de la composition de la matière grasse laitière des chèvres à fort taux ou faible taux de CNS-S1 (Chilliard *et al.*, 2006 b ; Schmidely *et al.*, 2007) montre qu'il existe des différences reproductibles du profil d'AG. Chez les chèvres à faible CNS-S1, les proportions du 16:0, du 18:1 9c et du 18:2 9c,11t sont accrues, alors que celles des AG 18:0 sont réduites, sans modification des autres AG (*trans* 18:1 totaux et du 18:1 11t en particulier). Les données suggèrent par ailleurs que l'activité de la  $\Delta$ 9 désaturase mammaire est réduite chez les variants à fort taux de CNS-S1 qui sont aujourd'hui sélectionnés au détriment des variants faibles. Des réductions des AG 8:0 à 13:0 (Chilliard *et al.*, 2006 b) ou des AG impairs et ramifiés (Schmidely *et al.*, 2007) ont été également rapportées chez les variants à faible CNS-S1 mais de façon non répétable.

##### 1.2.4.2. Effets de la race

Chez la brebis, les études comparant l'effet des races sur le profil en AG sont peu nombreuses et se sont focalisées sur les variations des CLA : en conditions d'alimentation comparables, ces variations sont en général très faibles (Barbosa *et al.*, 2003). Chez la chèvre, la comparaison des profils en AG de laits (Impemba *et al.*, 2005) ou en AG de fromages (Soryal *et al.*, 2005) issus de races différentes ne fait pas apparaître de différences inter-races.

##### 1.2.4.3. Facteur de variation individuelle

Il existe une part de variation individuelle animale sur les variations des AG du lait en réponse aux apports alimentaires : il est ainsi possible de sélectionner dans des lots de brebis, des animaux dont la proportion du 18:2 9c,11t est significativement plus forte, et de façon durable au sein d'une lactation et entre lactations (Knight *et al.*, 2004). Par ailleurs, des variations individuelles répétables de la teneur en 18:1 11t (et des autres isomères 18:1 *trans*) ont été mises en évidence chez la chèvre en réponse à différentes combinaisons d'apports lipidiques et de concentré (Andrade et Schmidely, 2006 b). Ces variations sont probablement pour partie d'origine génétique : ainsi, chez la brebis (Carta *et al.*, 2003), il a été mis en évidence l'existence d'un QTL putatif pour le rapport 18:2 9c,11t/18:1 11t suggérant qu'il existe un polymorphisme pour le gène de la  $\Delta$ 9-désaturase qui peut affecter les quantités de 18:1 9c et de CLA du lait. Par ailleurs, des polymorphismes du gène de la  $\Delta$ 9-désaturase ont été observés chez la chèvre (Bernard *et al.*, 2001 ; Yahyaoui *et al.*, 2002).

## **2. La viande et les produits carnés**

### **2.1. Ruminant (bovin, agneau) et préruminant (veau de boucherie)**

#### **2.1.1. Viande bovine**

##### **2.1.1.1. Composition moyenne en lipides des viandes et des abats**

###### **2.1.1.1.1. Teneurs en lipides totaux, lipides neutres et polaires et AG totaux**

Le tableau 30 rapporte les caractéristiques des teneurs en lipides de huit types de viande et cinq types d'abats principalement consommés en France chez des vaches de réforme (3-5 ans) représentatives des cheptels laitier (Holstein) et allaitant (Charolais) français (Bauchart, 2008). Les lipides totaux extraits des produits carnés bovins sont constitués de lipides neutres dominés par les triglycérides (> 97 % des lipides neutres totaux) stockés dans les tissus adipeux inter- et intra-musculaires (viandes, langue, joue, cœur) et par les triglycérides et le cholestérol dans le foie (86-90 % et 10-14 % des lipides neutres totaux, respectivement) et les rognons (63-66 % et 34-37 % des lipides neutres totaux, respectivement), de lipides polaires (principalement phospholipides de type phosphatidylcholine et phosphatidyléthanolamine). Si la teneur en lipides polaires reste relativement constante dans les viandes (0,6 à 0,9 % de poids frais), elle est quantitativement plus importante dans les abats, notamment dans le foie (2,7 % de poids frais), le cœur (1,7 % de poids frais) et les rognons (1,6 % de poids frais) (tableau 30). Néanmoins, la teneur en lipides totaux dans la viande varie avec la teneur en triglycérides, conduisant à un rapport AG totaux/lipides totaux variant de 0,87 pour les viandes les plus grasses (hampe) à 0,79 pour les viandes les plus maigres (tende de tranche). Pour l'ensemble des viandes y compris les viandes parées de façon à représenter les morceaux de viande réellement consommés par l'Homme (faux filet, entrecôte), la teneur en lipides des viandes varie d'un facteur 1 à 4, soit 2,3 % du poids de tissu frais pour les viandes maigres (tende de tranche) à 9,8 % du poids de tissu frais (muscle de l'entrecôte, hampe) pour les viandes les plus grasses. La plage de variation est plus élevée pour les abats (de 1 à 4,6), le cœur et les rognons étant relativement pauvres en lipides (2,6-3,3 % de tissu frais) et la langue (préparée pour la consommation) étant particulièrement riche en lipides (12,3-15,3 % de tissu frais).

L'élimination par parage boucher des tissus adipeux intermusculaires des viandes entraîne une baisse de la teneur en lipides totaux, comme dans le cas du faux-filet enregistrant une baisse de 33 % (tableau 30). Des cuissons de courte durée (< 5 min) comme la grillade ou le poêlage n'entraînent pas de perte significative de lipides contrairement aux cuissons longues (viandes braisées). En revanche, une cuisson en bain d'huile (friture) augmente la teneur en lipides (+ 2,4 g/100 g tissu sec) par imprégnation de la matrice par les triglycérides du bain d'huile (Bauchart, 2008).

Tableau 30 : Teneurs (% de tissu frais) en lipides totaux, en AG totaux, en lipides polaires et neutres totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de races Charolaise et Holstein (Bauchart, 2008 ; données CIV 2007).

		Lipides totaux (% frais)	Lipides polaires (% frais)	Lipides neutres (% frais)	Triglycérides (% frais)	AG (% frais)	AG/Lipides	
<b>Charolaise</b>	<b>Muscles</b>							
	Faux-Filet	6,17	0,72	5,45	5,39	5,25	0,85	
	Faux-Filet paré	4,05	0,72	3,33	3,27	3,36	0,83	
	Tende de tranche	2,35	0,626	1,73	1,68	1,88	0,80	
	Macreuse	3,05	0,642	2,41	2,34	2,48	0,81	
	Paleron	7,13	0,702	6,43	6,36	6,09	0,85	
	Hampe	9,82	0,933	8,88	8,82	8,43	0,86	
	Bavette	5,13	0,708	4,42	4,37	4,33	0,84	
	Entrecôte	7,65	0,617	7,03	6,99	6,60	0,86	
	Plat de côtes	7,41	0,566	6,84	6,78	6,38	0,86	
	<b>Abats</b>							
	Joue	4,85	0,986	3,86	3,79	3,98	0,82	
	Cœur	3,31	1,7066	1,60	1,46	2,36	0,71	
	Langue	15,33	0,754	14,58	14,43	13,31	0,87	
	Foie	4,60	2,696	1,90	1,70	3,18	0,69	
Rognons	2,74	1,546	1,20	0,76	1,63	0,59		

		Lipides totaux (% frais)	Lipides polaires (% frais)	Lipides neutres (% frais)	Triglycérides (% frais)	AG (% frais)	AG/Lipides
<b>Holstein</b>	<b>Muscles</b>						
	Faux-Filet	7,31	0,68	6,63	6,57	6,27	0,86
	Faux-Filet paré	4,94	0,68	4,26	4,20	4,16	0,84
	Tende de tranche	2,34	0,702	1,63	1,58	1,84	0,79
	Macreuse	3,66	0,683	2,98	2,91	3,01	0,82
	Paleron	5,95	0,553	5,40	5,33	5,08	0,85
	Hampe	7,43	0,818	6,62	6,56	6,34	0,85
	Bavette	6,20	0,599	5,60	5,55	5,31	0,86
	Entrecôte	9,80	0,563	9,24	9,19	8,53	0,87
	Plat de côtes	7,71	0,583	7,13	7,06	6,65	0,86
	<b>Abats</b>						
	Joue	5,19	0,861	4,33	4,25	4,32	0,83
	Cœur	2,59	1,595	0,99	0,85	1,74	0,67
	Langue	12,27	0,706	11,56	11,42	10,60	0,86
Foie	3,99	2,534	1,46	1,26	2,69	0,67	

## 2.1.1.2. Composition en AG des lipides totaux

### 2.1.1.2.1. AG saturés

#### AG saturés linéaires

L'étude comparée des teneurs (en % des AG totaux) en AGS linéaires des huit types de viandes chez des vaches Holstein et Charolaise et de steak haché du commerce à 15 % de lipides marque des différences significatives essentiellement liées à la localisation et aux types métaboliques des fibres musculaires et à l'importance relative des lipides neutres (triglycérides) par rapport aux lipides polaires, et non à la race des vaches (tableau 31).

Les AGS représentent 41 à 52 % des AG totaux, les muscles les plus pauvres en lipides présentant les teneurs en AGS linéaires les plus faibles (41,1-43,1 % pour la tranche de viande, 42,6-44,8 % pour la macreuse) et inversement les muscles les plus riches en lipides présentant les teneurs en AGS linéaires les plus élevées (51,7 % pour la hampe, 50,0-51,4 % pour le muscle de l'entrecôte). Le steak haché à 15 % de MG, riche en triglycérides apportés par une source de viande grasse, favorise la présence des AGS linéaires mais dans une moindre proportion (44,8 %) que l'entrecôte ou la hampe. Qualitativement, les AGS pairs sont dominés pour toutes les viandes étudiées et le steak haché, par le 16:0 (60-62 % et 58 % des AGS pairs, respectivement) et à un degré moindre, par le 18:0 (28,5-40,0 % et 31,7 %, respectivement). Les autres AGS linéaires présents de façon significative sont le 14:0 (4,9-6,2 %) et le 17:0 (2,6-3,1 %) alors que les AGS linéaires 12:0, 15:0, 20:0 et 22:0 ne dépassent pas chacun 0,3 % des AGS linéaires totaux (tableau 31).

Dans les abats, la plage de variation de la teneur en AGS pairs est plus importante que pour les viandes soit de 37,1 % (cœur) à 42,6 % (langue) des AG totaux (tableau 32). Qualitativement, le 16:0 reste le plus abondant dans les abats gras (langue : 57 % des AGS pairs) alors que le 18:0 est le plus abondant dans les abats maigres (foie : 65 %). Les autres AGS linéaires sont, comme dans le cas des viandes, très minoritaires (tableau 32).

Comparés aux AGS linéaires pairs, les AGS linéaires impairs (15:0 et 17:0) représentent une fraction très minoritaire des AGS linéaires totaux soit de l'ordre de 3,6-4 % pour l'ensemble des viandes mais de 4,0-6,5 % dans le cas des abats.

**Tableau 31 : Composition centésimale en AGS et AGMI des lipides totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de race charolaise (1<sup>ère</sup> valeur) et FFPN (2<sup>ème</sup> valeur) (Bauchart, 2008 et données CIV 2007).**

AG	Steak haché 15 % de MG	Faux-Filet	Tende de tranche	Macreuse	Paleron	Hampe	Bavette	Entrecôte	Plat de côtes (muscles)
12:0	0,1	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1
14:0	3,1	2,9 / 3,4	2,0 / 2,7	2,3 / 3,1	2,5 / 3,1	2,5 / 2,9	2,6 / 3,4	3,1 / 3,7	3,2 / 3,9
15:0	0,4	0,5 / 0,3	0,4 / 0,2	0,5 / 0,3	0,6 / 0,3	0,5 / 0,3	0,6 / 0,4	0,7 / 0,4	0,6 / 0,4
16:0	25,8	28,0 / 28,3	25,1 / 25,9	25,7 / 26,2	26,0 / 24,9	26,1 / 25,0	25,5 / 26,3	29,0 / 29,0	27,5 / 28,8
17:0	1,1	1,3 / 0,9	1,1 / 0,8	1,2 / 0,9	1,5 / 1,0	1,6 / 1,1	1,5 / 1,0	1,5 / 1,1	1,3 / 1,0
18:0	14,2	13,2 / 13,2	12,1 / 13,3	12,5 / 14,1	14,3 / 14,7	20,6 / 22,1	13,1 / 13,7	15,4 / 17,0	14,3 / 14,9
20:0	0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,2 / 0,1	0,1 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1
22:0	0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
<b>AGS linéaires</b>	<b>44,8</b>	<b>46,2 / 46,4</b>	<b>41,1 / 43,1</b>	<b>42,6 / 44,8</b>	<b>45,3 / 44,3</b>	<b>51,7 / 51,7</b>	<b>43,7 / 45,1</b>	<b>50,0 / 51,4</b>	<b>47,1 / 49,2</b>
iso 14:0	0,1	0,1 / 0,0	0,0 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,1	0,1 / 0,0
iso 15:0	0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,3 / 0,1	0,2 / 0,1
antéiso 15:0	0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2	0,3 / 0,1
iso 16:0	0,2	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	0,4 / 0,2	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	0,4 / 0,2	0,4 / 0,2
iso 17:0	0,4	0,6 / 0,3	0,6 / 0,3	0,6 / 0,3	0,7 / 0,4	0,6 / 0,4	0,7 / 0,4	0,6 / 0,4	0,6 / 0,3
iso 18:0	0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1
<b>AGS ramifiés</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8 / 1,0</b>	<b>1,5 / 0,8</b>	<b>1,7 / 0,9</b>	<b>2,0 / 1,1</b>	<b>1,9 / 1,0</b>	<b>1,9 / 1,0</b>	<b>2,0 / 1,1</b>	<b>1,9 / 1,1</b>
<b>AGS totaux</b>	<b>46,2</b>	<b>48,0 / 47,4</b>	<b>42,7 / 43,9</b>	<b>44,3 / 45,8</b>	<b>47,3 / 45,3</b>	<b>53,6 / 52,8</b>	<b>45,5 / 46,1</b>	<b>52,0 / 52,5</b>	<b>49,1 / 50,3</b>
16:1 9 t	0,9	1,1 / 0,7	1,0 / 0,7	1,1 / 0,8	1,2 / 0,9	1,2 / 0,9	1,2 / 0,7	1,2 / 0,8	1,1 / 0,7
18:1 9 t	0,6	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,3 / 0,2
18:1 10t+11t	0,9	0,9 / 0,7	0,5 / 0,5	0,6 / 0,6	0,8 / 0,8	0,9 / 0,9	0,8 / 0,7	1,1 / 1,0	1,0 / 0,8
<b>AGMI trans</b>	<b>2,46</b>	<b>2,3 / 1,6</b>	<b>1,9 / 1,5</b>	<b>2,0 / 1,7</b>	<b>2,4 / 2,0</b>	<b>2,4 / 2,1</b>	<b>2,2 / 1,7</b>	<b>2,5 / 2,0</b>	<b>2,5 / 1,8</b>
14:1 9c	0,9	0,7 / 0,9	0,4 / 0,6	0,5 / 0,7	0,5 / 0,7	0,3 / 0,3	0,6 / 0,8	0,5 / 0,6	0,8 / 1,0
16:1 9 c	4,4	4,1 / 5,3	3,1 / 4,5	3,5 / 4,6	3,3 / 4,4	2,0 / 2,6	3,9 / 5,3	3,2 / 3,7	4,1 / 5,0
17:1 8c + 9c	0,8	1,0 / 0,8	1,2 / 1,1	1,0 / 0,9	1,1 / 0,9	0,8 / 0,7	1,2 / 0,9	0,9 / 0,7	0,9 / 0,7

AG	Steak haché 15 % de MG	Faux-Filet	Tende de tranche	Macreuse	Paleron	Hampe	Bavette	Entrecôte	Plat de côtes (muscles)
18:1 9c + 10c	37,6	35,4 / 37,3	34,9 / 35,7	34,6 / 35,4	36,0 / 37,7	32,6 / 32,9	35,2 / 36,3	33,8 / 34,8	35,4 / 35,2
18:1 11c	1,7	1,5 / 1,4	1,6 / 1,5	1,6 / 1,5	1,5 / 1,6	1,1 / 1,1	1,9 / 1,8	1,3 / 1,2	1,4 / 1,4
18:1 12c	0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2
18:1 13c	0,4	0,3 / 0,3	0,2 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,1 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,3 / 0,3
20:1 11c	0,0	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1
20:1 9 c	0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2
<b>AGMI cis</b>	<b>46,6</b>	<b>43,6 / 46,6</b>	<b>42,1 / 44,2</b>	<b>42,1 / 43,8</b>	<b>43,3 / 46,2</b>	<b>37,5 / 38,3</b>	<b>43,8 / 46,0</b>	<b>40,7 / 42,0</b>	<b>43,7 / 44,2</b>
<b>AGMI totaux</b>	<b>49,1</b>	<b>45,9 / 48,2</b>	<b>44,0 / 45,7</b>	<b>44,1 / 45,5</b>	<b>45,7 / 48,2</b>	<b>37,9 / 40,4</b>	<b>46,0 / 47,7</b>	<b>43,2 / 44,0</b>	<b>46,2 / 46,0</b>

**Tableau 32 : Composition en AGS et AGMI des lipides totaux des principaux abats consommés par l'Homme issus de vaches de réforme en finition de race charolaise (1<sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2<sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 et Données CIV 2007).**

AG	Joue	Cœur	Langue	Foie	Rognons
12:0	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,0 / 0,1	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
14:0	2,1 / 2,8	1,3 / 1,3	2,6 / 3,2	0,8 / 0,6	0,8 / 0,7
15:0	0,6 / 0,4	0,4 / 0,3	0,8 / 0,5	0,3 / 0,2	0,5 / 0,3
16:0	21,1 / 21,1	15,7 / 14,5	24,1 / 22,9	11,9 / 8,9	15,7 / 15,4
17:0	1,8 / 1,4	1,3 / 0,8	1,9 / 1,3	1,3 / 1,6	1,0 / 1,0
18:0	15,4 / 17,4	17,9 / 16,6	12,9 / 12,6	23,2 / 28,3	13,9 / 13,6
20:0	0,1 / 0,1	0,2 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,3 / 0,3
22:0	0,0 / 0,0	0,2 / 0,3	0,0 / 0,0	0,2 / 0,3	0,2 / 0,3
<b>AGS linéaires</b>	<b>41,2 / 43,4</b>	<b>37,1 / 34,2</b>	<b>42,6 / 40,8</b>	<b>37,9 / 40,3</b>	<b>32,6 / 31,8</b>
iso 14:0	0,1 / 0,0	0,0 / 0,0	0,1 / 0,1	0,4 / 0,0	0,0 / 0,0
iso 15:0	0,2 / 0,1	0,1 / 0,1	0,2 / 0,1	0,1 / 0,2	0,3 / 0,1
antéiso 15:0	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2	0,1 / 0,2	0,0 / 0,1
iso 16:0	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1
iso 17:0	0,8 / 0,6	0,5 / 0,4	0,7 / 0,6	0,3 / 0,4	0,4 / 0,3
iso 18:0	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,3 / 0,1	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1
<b>AGS ramifiés</b>	<b>1,9 / 1,3</b>	<b>1,7 / 1,2</b>	<b>2,1 / 1,5</b>	<b>1,8 / 1,8</b>	<b>1,3 / 1,0</b>
<b>AGS totaux</b>	<b>43,1 / 44,7</b>	<b>38,8 / 35,3</b>	<b>44,7 / 42,2</b>	<b>39,8 / 42,1</b>	<b>33,9 / 32,8</b>
16:1 9t	1,2 / 0,9	1,0 / 0,8	1,3 / 1,0	0,8 / 0,9	0,7 / 0,7
18:1 9t	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,3 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2
18:1 10t+11t	0,8 / 1,1	0,7 / 0,7	0,9 / 1,4	0,6 / 0,6	0,4 / 0,3
<b>AGMI trans</b>	<b>2,3 / 2,3</b>	<b>2,1 / 1,8</b>	<b>2,5 / 2,6</b>	<b>1,8 / 1,9</b>	<b>1,5 / 1,4</b>
14:1 9c	0,4 / 0,5	0,1 / 0,1	0,6 / 0,8	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
16:1 9 c	2,7 / 3,2	1,9 / 2,8	3,7 / 4,4	0,9 / 0,5	0,7 / 0,9
17:1 8c + 9c	1,2 / 1,0	1,2 / 1,2	1,5 / 1,2	0,4 / 0,4	0,6 / 0,7
18:1 9c + 10c	33,1 / 32,6	20,2 / 19,1	36,6 / 38,8	9,5 / 8,3	13,2 / 14,2
18:1 11c	2,2 / 2,0	1,6 / 1,6	2,1 / 2,2	0,9 / 0,9	2,1 / 2,8
18:1 12c	0,3 / 0,3	0,4 / 0,2	0,2 / 0,3	0,2 / 0,2	0,2 / 0,1
18:1 13c	0,2 / 0,2	0,1 / 0,1	0,3 / 0,3	0,1 / 0,1	0,1 / 0,2
20:1 11c	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,0 / 0,1	0,1 / 0,1
20:1 9 c	0,2 / 0,1	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2	0,1 / 0,1	0,3 / 0,3
<b>AGMI cis</b>	<b>40,6 / 40,3</b>	<b>26,2 / 25,7</b>	<b>45,6 / 48,5</b>	<b>12,8 / 11,9</b>	<b>17,7 / 19,7</b>
<b>AGMI totaux</b>	<b>42,9 / 42,6</b>	<b>28,3 / 27,5</b>	<b>48,1 / 51,1</b>	<b>14,6 / 13,8</b>	<b>19,2 / 21,1</b>

### AG saturés ramifiés

Les AGS à chaîne ramifiée représentent 0,9 à 2,0 % des AG totaux pour les huit viandes considérées et 1,4 % pour le steak haché à 15 % de MG (tableau 30).

Ils sont, en moyenne, 1,8 fois plus abondants dans les viandes des vaches charolaises que frisonnes, même si les animaux ont tous reçu pendant leur phase de finition (70 jours), la même ration à base d'ensilage de maïs et d'aliment concentré. Les formes iso 14:0, 15:0, 16:0, 17:0, 18:0 et antéiso 15 ont été clairement identifiées, la forme antéiso 17 n'étant présente qu'à l'état de traces. Les formes dominantes sont l'iso 17:0 (0,4-0,7 % des AG totaux), l'iso 16:0 (0,2-0,4 %) et l'antéiso 15:0 (0,1-0,3 %), les autres formes ne dépassant pas 0,2 % des AG totaux.

Dans le cas des abats, on observe les mêmes formes d'AGS ramifiés que dans les viandes, dominées par l'iso 17:0 (35-45 % des AG ramifiés totaux) suivi notamment par l'iso 16:0 (11-14 %) et l'iso 18 (8-10 %).

#### **2.1.1.2.2. AG monoinsaturés**

##### AG monoinsaturés *cis*

Les AGMI *cis* correspondent à une des familles majeures d'AG dans les viandes bovines, leurs teneurs variant de 37,5 à 46,6 % pour les viandes et 46,6 % pour le steak haché à 15 % de MG, des AG totaux des lipides totaux (tableau 31).

Ils sont représentés principalement par les AGMI 9c de type 14:1, 16:1, 17:1, 18:1 et 20:1 (92-96 % des AGMI *cis* totaux), notamment le 18:1 9c (82-86 % pour les viandes, 80,6 % pour le steak haché 15 % de MG) et le 16:1 9c (6-9 %, 4,4 % pour le steak haché 15 % de MG). Les autres formes des AGMI *cis* beaucoup plus minoritaires sont représentées par les différents isomères de position de la double liaison de l'acide oléique, notamment le 18:1 11c (2,9-3,7 % des AGMI *cis* et 3,6 % pour le steak haché à 15 % de MG). La teneur en AGMI *cis* des différentes viandes et du steak haché est relativement stable dans la plage 42-47 % des AG totaux, sauf dans le cas de la hampe où ils se déposent moins (38 %) (tableau 31).

Dans le cas des abats, la teneur en AGMI *cis* est extrêmement variable passant de 12 % (foie) et 19 % (rognons), à 49 % (langue) des AG totaux (tableau 32). Comme dans le cas des viandes, le 18:1 9c est l'AGMI *cis* le plus représenté (72 à 81 % des AGMI *cis*), le 18:1 11c étant particulièrement abondant dans les rognons (13,5 %) comparé aux autres abats tels la langue (4,5 %), la joue (5,5 %), le cœur (6,2 %) et le foie (7,2 %) (tableau 32).

##### AG monoinsaturés *trans*

Ils représentent une classe minoritaire des AGMI des viandes, la teneur en AGMI *trans* étant comprise, toutes viandes confondues, entre 1,5 et 2,5 % des AG totaux (tableau 31). Ils sont représentés principalement par le 16:1 9t (45-50 % des AGMI totaux) et le 18:1 11t (30-45 %) et secondairement, par le 18:1 9t (13-18 %).

Dans les abats, les AGMI *trans* varient dans la même gamme de teneurs que dans les viandes, soit de 1,45 % (rognons) à 2,3 % (joue) (tableau 32). Ils sont dominés par le 16:1 9t (45-48 % des AGMI totaux) et secondairement, par le 18:1 11t (24-47 %), le 18:1 9t étant très minoritaire (10-14 %).

#### **2.1.1.2.3. AG polyinsaturés**

##### Acides octadécadiénoïques non conjugués

Les AGPI de type 18:2 sont représentés essentiellement par le LA (1,2-4,5 % des AG totaux) et très secondairement par ses isomères 18:2 *c/t*, *t/c* et *t/t* (au total : 0,5 à 0,7 % des AG totaux des viandes et du steak haché à 15 % de MG). La teneur en LA est plus élevée dans les tissus maigres plus abondants en proportions relatives en phospholipides riches en

AGPI telles la tendre de tranche (3,5-4,5 % des AG totaux), la macreuse (3,2-4,2 %) et la bavette (2,4-3,6 %), que dans les autres viandes plus riches en lipides (paleron : 2,3-2,6 % ; faux filet : 1,5-2,1 %), ou très riches en lipides (entrecôte : 1,4-1,9 % ; plat de côtes : 1,2-1,6 % ; steak haché : 1,7 %). Seule, la hampe, bien que très riche en lipides, possède une teneur en LA relativement plus élevée (2,6-2,8 %) (tableau 33).

Dans les abats, la teneur en LA (3,1 à 15,1 % des AG totaux) est beaucoup plus élevée et variable que dans les viandes. Elle est la plus élevée dans le cœur (13,1-15,1 %) et les rognons (14,7-15,1 %), pauvres en lipides neutres et donc proportionnellement plus riches en phospholipides, comparés au foie (6,4 %), et surtout la langue (3,1 %) et la joue (5,8 %). Les 18:2 *trans* sont, comme dans les viandes, faiblement déposés (0,5-0,7 %) avec un niveau plus élevé dans la langue (0,7-0,9 %).

#### Acides octadécadiénoïques conjugués

Les différents isomères CLA *c/c*, *c/t*, *t/c* et *t/t* représentent un ensemble quantitativement modeste (0,2-0,4 % des AG totaux) mais significatif dans les viandes bovines. Comme cela a été décrit dans la littérature, les CLA sont principalement associés aux triglycérides présents dans les tissus adipeux (Bauchart *et al.*, 2002 c ; Scollan *et al.*, 2005 ; De La Torre *et al.*, 2006), sites de leur biosynthèse à partir du 18:1 11*t* (Gruffat *et al.*, 2006). Ils sont donc plus abondants dans les viandes riches en graisses (hampe, entrecôte, plat de côtes, steak haché à 15 % de MG : 0,3 à 0,5 % des AG totaux), que dans les viandes maigres (tendre de tranche et macreuse : 0,2-0,3 %) (tableau 33). L'isomère 18:2 9*c*,11*t* représente la forme quasi-exclusive bien détectable dans les AG totaux des viandes et du steak haché à 15 % de MG. La purification des triglycérides de ces viandes permet de mieux décrire les formes mineures des isomères de CLA principalement les isomères *t,t* qui représentent 10 % environ de la teneur en CLA totaux, les formes *c,c* étant détectables mais non quantifiables avec précision (De La Torre *et al.*, 2006 ; Bauchart, 2008).

Dans les abats, la teneur en CLA totaux [dominée très largement par l'acide ruménique (18:2 9*c*,11*t*)] est comparable à celle mesurée dans les viandes (tableau 34).

#### Acides octadécatriénoïques

Les acides octadécatriénoïques sont représentés principalement par l'ALA, préférentiellement estérifié dans les viandes (comme le LA) dans les phospholipides des membranes cellulaires. Sa teneur exprimée en % des AG totaux est modeste dans des conditions de faible apport de matières grasses riches en huiles végétales. Elle est comprise entre 0,3 et 0,9 % des AG totaux, les valeurs les plus élevées étant mesurées dans les viandes maigres comme la tendre de tranche (0,7-0,9 %) et la macreuse (0,6-0,8 %), comparée aux teneurs plus faibles dans les viandes grasses comme le plat de côtes (0,3-0,4 %), l'entrecôte (0,3-0,5 %), la hampe (0,5 %) ou le steak haché (0,4 %) (tableau 33).

Dans les abats, la teneur en ALA est légèrement plus élevée que dans les viandes, étant comprise entre 0,5 % (foie) et 1,4 % (cœur) des AG totaux (tableau 34).

**Tableau 33 : Composition en AGPI et valeurs de différents rapports de familles d'AG des lipides totaux des viandes principalement consommées en France issues de vaches de réforme en finition de race charolaise (1<sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2<sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 ; données CIV 2007).**

AG (suite)	Steak haché à 15 % de MG	Faux-Filet	Tende de tranche	Macreuse	Paleron	Hampe	Bavette	Entrecôte	Plat de côtes (sans os)
18:2 <i>t,t</i>	0,2	0,2 / 0,2	0,1 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,1 / 0,2	0,2 / 0,2	0,1 / 0,2	0,2 / 0,2
18:2 <i>t,c</i>	0,2	0,1 / 0,1	0,1 / 0,2	0,1 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,1 / 0,1	0,2 / 0,2	0,1 / 0,2
18:2 <i>c,t</i>	0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,2
LA	1,7	2,1 / 1,5	4,5 / 3,5	4,2 / 3,2	2,6 / 2,3	2,6 / 2,8	3,6 / 2,4	1,9 / 1,4	1,6 / 1,2
18:3 n-6	0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
20:2 n-6	0,1	0,0 / 0,0	0,1 / 0,1	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
20:3 n-6	0,2	0,2 / 0,2	0,7 / 0,6	0,6 / 0,4	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,4 / 0,3	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2
ARA	0,4	0,4 / 0,5	2,0 / 1,7	1,6 / 1,3	0,7 / 0,8	0,7 / 0,9	0,7 / 0,7	0,4 / 0,2	0,5 / 0,4
22:4 n-6	0,1	0,1 / 0,1	0,4 / 0,3	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,2 / 0,2	0,1 / 0,0	0,1 / 0,1
ALA	0,4	0,5 / 0,4	0,9 / 0,7	0,8 / 0,6	0,6 / 0,5	0,5 / 0,5	0,7 / 0,5	0,5 / 0,3	0,4 / 0,3
20:3 n-3	0,1	0,3 / 0,0	0,2 / 0,1	0,1 / 0,1	0,1 / 0,0	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
EPA	0,1	0,2 / 0,2	0,8 / 0,7	0,5 / 0,4	0,2 / 0,2	0,2 / 0,3	0,3 / 0,2	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1
DPA	0,3	0,6 / 0,5	2,0 / 1,4	1,4 / 1,1	0,8 / 0,8	0,7 / 0,7	1,1 / 0,7	0,4 / 0,2	0,5 / 0,3
DHA	0,0	0,0 / 0,0	0,2 / 0,1	0,1 / 0,0	0,0 / 0,0	0,1 / 0,0	0,1 / 0,0	0,0 / 0,0	0,0 / 0,0
18:2 9c,11t	0,4	0,3 / 0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3
CLA	0,5	0,4 / 0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,4 / 0,4	0,3 / 0,3	0,4 / 0,3	0,3 / 0,3	0,4 / 0,3
Autres AG	0,3	0,5 / 0,3	0,6 / 0,3	0,7 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,2	0,3 / 0,3	0,1 / 0,1	0,2 / 0,1

**Tableau 34 : Composition en AGPI et valeurs de différents rapports de familles d'AG des lipides totaux des principaux abats consommés par l'Homme issus de vaches de réforme en finition de race charolaise (1<sup>ère</sup> valeur) et Holstein Frison (2<sup>ème</sup> valeur) (d'après Bauchart, 2008 et Données CIV 2007).**

AG (suite)	Joue	Cœur	Langue	Foie	Rognons
18:2 n-6 <i>t,t</i>	0,2 / 0,2	0,1 / 0,1	0,2 / 0,3	0,1 / 0,2	0,1 / 0,1
18:2 n-6 <i>t,c</i>	0,1 / 0,2	0,2 / 0,3	0,2 / 0,3	0,1 / 0,3	0,1 / 0,2
18:2 n-6 <i>c, t</i>	0,2 / 0,3	0,2 / 0,2	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2
<b>Σ AGPI n-6 <i>trans</i></b>	<b>0,5 / 0,7</b>	<b>0,5 / 0,6</b>	<b>0,7 / 0,9</b>	<b>0,5 / 0,7</b>	<b>0,5 / 0,5</b>
LA	5,8 / 5,8	13,1 / 15,1	3,0 / 3,1	6,3 / 6,4	15,0 / 14,7
18:3 n-6	0,0 / 0,0	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,3 / 0,4	0,1 / 0,1
20:2 n-6	0,1 / 0,1	0,1 / 0,1	0,0 / 0,0	0,3 / 0,3	0,6 / 0,4
20:3 n-6	0,5 / 0,5	1,5 / 1,8	0,2 / 0,2	6,8 / 6,8	2,7 / 2,6
ARA	2,3 / 2,0	6,8 / 7,7	0,5 / 0,5	7,8 / 7,8	13,5 / 13,4
22:4 n-6	0,4 / 0,3	0,6 / 0,7	0,2 / 0,1	3,2 / 2,6	0,9 / 0,8
<b>Σ AGPI n-6 <i>cis</i></b>	<b>9,1 / 8,6</b>	<b>22,2 / 25,6</b>	<b>3,8 / 3,9</b>	<b>24,7 / 24,2</b>	<b>32,7 / 32,1</b>
<b>AGPI n-6 totaux</b>	<b>9,6 / 9,3</b>	<b>22,7 / 26,2</b>	<b>4,5 / 4,8</b>	<b>25,3 / 25,0</b>	<b>33,2 / 32,5</b>
ALA	1,0 / 0,9	1,3 / 1,4	0,7 / 0,7	0,5 / 0,5	0,7 / 1,0
20:3 n-3	0,0 / 0,0	0,3 / 0,2	0,1 / 0,0	0,1 / 0,1	0,3 / 0,3
20:4 n-3	0,1 / 0,1	0,3 / 0,4	0,1 / 0,1	0,2 / 0,9	0,2 / 0,2
EPA	0,4 / 0,4	2,0 / 2,4	0,2 / 0,1	1,8 / 1,9	2,8 / 3,0
DPA	1,7 / 1,2	2,9 / 3,0	0,9 / 0,5	12,8 / 10,5	6,4 / 5,3
DHA	0,2 / 0,1	0,3 / 0,2	0,0 / 0,0	2,6 / 1,7	1,3 / 0,8
<b>Σ AGPI-LC n-3</b>	<b>2,5 / 1,8</b>	<b>5,7 / 6,2</b>	<b>1,3 / 0,7</b>	<b>17,4 / 15,0</b>	<b>11,0 / 9,5</b>
<b>AGPI n-3 totaux</b>	<b>3,5 / 2,7</b>	<b>7,0 / 7,7</b>	<b>2,0 / 1,4</b>	<b>17,9 / 15,6</b>	<b>11,7 / 10,6</b>
18:2 9 <i>c,11t</i>	0,3 / 0,3	0,2 / 0,2	0,3 / 0,4	0,2 / 0,1	0,2 / 0,2
CLA	0,3 / 0,4	0,2 / 0,2	0,3 / 0,4	0,5 / 0,7	0,4 / 0,5
<b>Σ Autres AG</b>	<b>0,6 / 0,4</b>	<b>2,8 / 2,9</b>	<b>0,3 / 0,1</b>	<b>1,8 / 2,4</b>	<b>1,5 / 2,2</b>

#### AG polyinsaturés n-6 et n-3 à longue chaîne

Les AGPI-LC totaux des viandes maigres (tende de tranche, macreuse, bavette) représentent 2,2 à 6,4 % des AG totaux alors que ceux des viandes grasses (entrecôte, paleron et hampe) et du steak haché à 15 % de MG ne représentent que 0,7-3 % des AG totaux. Pour les abats, le pourcentage d'AGPI-LC totaux est très variable soit seulement 2 et 5 % des AG totaux pour la langue et la joue respectivement, alors qu'elle s'élève à 16 % dans le cœur, 27 % dans les rognons et 34 % dans le foie.

Les viandes bovines apportent des quantités importantes mais très variables, selon les tissus, d'AGPI-LC tant de la famille n-6 (0,4-3,1 % des AG totaux) que de la famille n-3 (0,3-3,3 %).

Les AGPI-LC n-6 sont davantage présents dans les viandes maigres comme la tende de tranche (2,0-3,1 % des AG totaux) et la macreuse (2,0-2,6 %) que dans l'ensemble des autres viandes dont la teneur varie de 0,4 à 1,4 %. Qualitativement, les AGPI-LC n-6 sont dominés par l'ARA (55-64 % des AGPI-LC n-6 totaux) et secondairement par le 20:3 n-6 (16-29 %) et le 22:4 n-6 (13-16 %) (tableau 33). Les abats apportent généralement des quantités d'AGPI-LC n-6 élevées mais ces apports sont très variables selon le type d'abats. Si les valeurs sont proches de celles des viandes (0,4-3,1 % des AG totaux) dans les cas de la langue (0,85 % des AG totaux) et de la joue (3 %), elles sont très largement supérieures dans le cœur (10 %), et dans les rognons (17,5 %) et le foie (18 %) apportant principalement du 20:3 n-6 (3-7 % des AG totaux) et de l'ARA (8-13,5 %) (tableau 34).

Les teneurs en AGPI-LC n-3 totaux varient de façon parallèle à celles des AGPI-LC n-6 totaux dans les viandes, les teneurs (0,3-3,3 %) étant dans l'ensemble très voisines pour chaque type de viande entre les deux groupes d'AGPI-LC (tableau 33). Les AGPI-LC n-3 sont dominés dans les viandes comme pour le steak haché par le DPA (55-75 %) et très secondairement par l'EPA (5-26 %). Le DHA n'est présent qu'à l'état de traces. Dans le cas des abats, la teneur en AGPI-LC n-3 varie pour chaque type de tissu de façon parallèle à celle des AGPI-LC n-6 rejoignant ainsi les mêmes observations émises sur les viandes. Les abats les moins riches en AGPI-LC n-3 sont la langue (1 %) et la joue (2 %), comparés au cœur (6 %), aux rognons (10 %) et surtout au foie (16 %). Comme pour les viandes, les AGPI-LC n-3 sont dominés par le DPA (49-72 % des AGPI-LC n-3 totaux) et très secondairement par l'EPA (11-37 %). Le DHA est présent dans tous les abats (4-13 %) sauf dans la langue (tableau 34).

### 2.1.1.3. Effets de l'âge, du sexe et de la race des bovins sur les teneurs en lipides des viandes

Les études rapportant la variation de la teneur en lipides totaux des viandes en fonction des paramètres liés à l'animal (race, âge, sexe) sont relativement limitées notamment pour des races utilisées en France. Dans le cadre d'une action de recherche régionale menée sur quatre races à viande du Massif Central (Aubrac, Charolais, Limousin, Salers), la teneur en lipides totaux de trois muscles, *longissimus thoracis* (LT), *semitendinosus* (ST), *triceps brachii* (TB) a été comparée en fonction de l'âge du taurillon (15, 19 et 24 mois) et de la vache de réforme (4-5 ans, 6-7 ans, 8-9 ans) (Bauchart *et al.*, 2002 a et b ; Picard *et al.*, 2002).

Les résultats (tableau 35) montrent que chez le taurillon de race charolaise, les tissus accumulent les lipides (sous forme de triglycérides) avec l'âge pour les 3 muscles considérés.

**Tableau 35 : Variations de la teneur en lipides totaux (% tissu frais) des muscles *longissimus thoracis* (LT), *semitendinosus* (ST) et *triceps Brachii* (TB) chez le bovin Charolais selon le sexe et l'âge (d'après Bauchart *et al.*, 2002 a et b ; Picard *et al.*, 2002).**

Taurillon (n = 7)	Lipides totaux (% tissu frais)		
	15 mois	19 mois	24 mois
LT	1,70 <sup>c</sup>	2,20 <sup>d</sup>	3,37 <sup>e</sup>
ST	1,27 <sup>ab</sup>	1,07 <sup>a</sup>	1,48 <sup>b</sup>
TB	1,83 <sup>c</sup>	1,50 <sup>c</sup>	2,73 <sup>d</sup>

Vache de réforme (n = 7)	Lipides totaux (% tissu frais)		
	4 – 5 ans	6 – 7 ans	8 – 9 ans
LT	2,05 <sup>a</sup>	1,68 <sup>ab</sup>	1,58 <sup>b</sup>
ST	2,66	3,50	2,59
TB	2,08	2,89	2,14

<sup>a,b</sup> :  $P < 0,05$ ; <sup>c,d,e</sup> :  $P < 0,01$

En revanche, chez la vache de réforme, la teneur en lipides n'augmente que transitoirement pour le ST et le TB et il baisse dans le cas du LT pour les vaches âgées de 8-9 ans par rapport aux vaches de 4-5 ans (tableau 35). Dans le cas du LT, les teneurs en lipides totaux sont inférieures significativement chez la vache de réforme âgée par rapport au taurillon âgé de 24 mois. Chez le taurillon, pour les 3 muscles confondus, les teneurs en lipides totaux (et leurs composants en triglycérides et phospholipides) ne sont pas significativement modifiées par la race mais augmentent avec l'âge. Chez la vache de réforme, ces tendances sont opposées, les teneurs en lipides variant seulement en fonction de la race (Bauchart *et al.*, 2002 a et b).

#### 2.1.1.4. Modification de la composition en AG des viandes par l'alimentation

##### 2.1.1.4.1. Effets de la composition de la ration de base

###### Effets de rations à base de fourrages

Les variations de la composition de la ration de base sur les AG de la viande ont fait l'objet de nombreuses études en Europe et en Amérique du nord avec le souci de déterminer les conditions les plus favorables à la croissance musculaire en association avec une qualité nutritionnelle accrue des AG déposés.

Ainsi, Nuernberg *et al.* (2005 a) ont montré chez le taurillon en finition de race Holstein ou Simmental que l'ingestion à long terme d'herbe riche en ALA conduit, en comparaison d'une ration à base d'aliment concentré riche en céréales, à un fort enrichissement en AGPI n-3 (2,3-2,8 fois) (tableau 36). Ceci s'accompagne d'une baisse parallèle de plus de 30 % de la teneur en AGPI n-6 du muscle long dorsal pour les deux races considérées (tableau 36). Les modifications apportées dans le contenu en AGPI n-3 et n-6 entraînent une forte diminution (d'un facteur 3,4 à 4,2) du rapport en AGPI n-6/n-3 pour atteindre une valeur voisine de 2. Cette faible valeur du rapport n-6/n-3 des muscles a été confirmée chez des bovins alimentés selon deux systèmes de production d'herbe (Razminowicz *et al.*, 2006). La consommation de fourrages verts entraîne également une augmentation significative des AGPI-LC notamment de type EPA et DPA dans les phospholipides musculaires (Dannenberger *et al.*, 2004).

**Tableau 36 : Effets de la race et de la ration de base sur la teneur en AGPI des AG des lipides totaux du muscle *longissimus thoracis* chez le bovin en finition (d'après Nuernberg *et al.*, 2005 a).**

(mg/100 g tissu)	Holstein		Simmental		Traitement ( $P < 0,05$ )
	Concentré	Herbe	Concentré	Herbe	
AGPI n-3	27,8	65,1	20,5	57,4	R, RB
AGPI n-6	179	125	168	113	RB
AGPI/Sat	0,11	0,16	0,14	0,19	NS

R = effet de la race ; RB = effet de la ration de base ; RxRB = effet de l'interaction de la race et de la ration de base ; NS = non significatif.

L'effet bénéfique de la consommation d'herbe sur le dépôt préférentiel d'AGPI n-3 dans la viande augmente avec la durée de consommation d'herbe au pâturage. Ainsi, Noci *et al.* (2005 a) ont montré chez la génisse, qu'une consommation d'herbe de 0 à 158 jours améliore (proportionnellement à la durée de l'essai) la qualité nutritionnelle des AG de la viande à la fois : i) en augmentant l'incorporation des AGPI n-3 au détriment des AGPI n-6, ii) en diminuant la teneur en AGS de la viande, iii) en augmentant les teneurs du 18:2 9c,11t et de son précurseur, le 18:1 11t (tableau 37).

**Tableau 37 : Effets de la durée de consommation d'herbe au pâturage sur la composition en AG des lipides du muscle *longissimus thoracis* chez la génisse à viande (d'après Noci *et al.*, 2005 a).**

En % des AG totaux	Durée au pâturage (jours)				Traitement
	0	40	99	158	
AGS	45,4	45,8	45,5	43,2	*
18:1 11t	1,35	1,93	2,27	3,01	**
18:2 9c,11t	0,50	0,50	0,57	0,71	*
AGPI/AGS	0,12	0,14	0,12	0,15	*

Concernant les isomères de CLA, Dannenberger *et al.* (2005) et Noci *et al.* (2005 b) ont montré que, par rapport au régime à base d'aliment concentré, le régime à base de pâturage favorise le dépôt des différents isomères de CLA dans le muscle long dorsal. Ces modifications concernent la famille *t/t*, en particulier les formes 11t,13t et 9t,11t, et notamment chez les taurillons Holstein (x 3,7) par rapport aux taurillons Simmental (x 1,6) (tableau 38).

Le régime à base de pâturage favorise surtout les familles de CLA dominantes *c/t* et *t/c* (90 à 95 % des CLA totaux) dont les teneurs augmentent de 40 et 30 %, respectivement, pour les taurillons Holstein et Simmental (tableau 38). La forme largement dominante 9c,11t représente 80 % des CLA totaux avec le régime concentré mais seulement 65-76 % avec le régime « herbe » en raison du dépôt accru de 11t,13c particulièrement notable chez les taurillons Holstein. Ces travaux montrent, en outre, un net effet « race » sur les teneurs en CLA totaux du muscle, les taurillons Holstein possédant des teneurs en CLA deux fois supérieures aux taurillons Simmental pour les deux types de rations étudiées (tableau 38).

**Tableau 38 : Variation de la teneur en différents isomères trans de l'acide linoléique conjugué des lipides du muscle *longissimus thoracis* en fonction de la race (R) et du type d'alimentation (A) chez le bovin (d'après Dannenberger *et al.*, 2005).**

Race	Holstein		Simmental		Traitement
	Concentré	Herbe	Concentré	Herbe	
Teneur en lipides (% tissu frais)	2,7	2,3	2,6	1,5	A
<b>18:2 t, t</b>					
18:2 12t,14t	0,07	0,5	0,03	0,1	A, R, A*R
18:2 11t,13t	0,1	0,8	0,05	0,2	A, R, A*R
18:2 10t,12t	0,1	0,2	0,07	0,06	R
18:2 9t,11t	0,2	0,4	0,1	0,1	R, A*R
18:2 8t,10t	0,07	0,1	0,04	0,02	R
18:2 7t,9t	0,06	0,2	0,04	0,05	R, A*R
<b>Total</b>	0,6	2,2	0,33	0,53	
<b>c,t CLA ; t,c 18:2</b>					
12c,14t 18:2	0,1	0,3	0,07	0,08	A, R, A*R

Race Régime	Holstein		Simmental		Traitement
	Concentré	Herbe	Concentré	Herbe	
11t,13c 18:2	0,2	2,9	0,1	1,0	A, R, A*R
10t,12c 18:2	0,2	0,4	0,1	0,2	A, R,
9c,11t 18:2	11,7	14,4	6,5	8,0	R
8t,10c 18:2	0,4	0,4	0,2	0,2	R
7t,9c 18:2	1,4	1,6	0,7	0,5	R
<b>Total c,t + t,c 18:2</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>7,67</b>	<b>9,98</b>	

A = Influence significative de l'alimentation; R = Influence significative de la race; A\*R = Influence significative de l'interaction de l'alimentation et de la race.

Dans le même essai, les mêmes auteurs ont décrit les différents isomères *trans* du 18:1 dans les lipides de la viande (long dorsal) des taurillons Holstein et la variation de leur teneur chez les animaux adaptés aux rations à base d'herbe ou d'aliment concentré (Dannenberger *et al.*, 2004). Avec le régime riche en aliment concentré, ils observent une distribution dominée par la forme 11 t (41 % des 18:1 *trans* totaux) associée aux formes 10 t (14,1 %), 12 t (15,2 %) et 13 t/14 t (12,4 %) (tableau 39).

**Tableau 39 : Variation de la teneur (mg/100 g tissu frais) en différents isomères du 18:1 *trans* des lipides du muscle *longissimus thoracis* selon le type d'alimentation chez le taurillon de race Holstein (d'après Dannenberger *et al.*, 2004).**

Régimes	Concentré	Herbe	(P <)
<b>Teneur en lipides (% tissu frais)</b>	2,7	2,3	
<b>Composition (% 18:1 <i>trans</i> totaux)</b>			
18:1 4t	0,4	0,3	0,09
18:1 5t	0,3	0,2	0,04
18:1 6, 7 et 8t	1,8	1,0	0,0001
18:1 9t	4,8	3,0	0,0001
18:1 10t	14,1	3,8	0,0001
18:1 11t	41,2	49,4	0,0001
18:1 12t	15,2	10,2	0,0002
18:1 13t et 14t	12,4	17,6	0,0001
18:1 15t	4,8	6,9	0,0001
18:1 16t	5,2	7,6	0,0001
<b>Teneur <i>trans</i> 18:1 (mg/100 g tissu frais)</b>	<b>163,2</b>	<b>205,0</b>	<b>0,0001</b>

Avec le régime herbe, les isomères des *trans* 18:1 dont la teneur a augmenté de 25 %, ont un profil modifié avec une domination accrue des isomères 11 t (49 %) accompagnée des formes 13 t et 14 t (17,6 %) au détriment des formes 10 t (3,8 %) et 12 t (10,2 %) (tableau 39).

#### Effets de l'équilibre fourrages/aliments concentrés des rations

La nature et la proportion de fourrages apportés en complément de l'aliment concentré modifient le profil en AG de la viande. La composition en AG des lipides totaux de la bavette de flanchet issue d'un taurillon recevant une ration à base de paille/aliment concentré (30/70) a été comparée à celle issue d'un taurillon Charolais x Salers en finition recevant une ration à base d'ensilage de maïs/aliment concentré (60/40) (Bauchart *et al.*, 2004). Les résultats montrent qu'en comparaison d'un régime à base d'ensilage de maïs/aliment concentré

(60/40), le régime paille/aliment concentré (30/70) conduit à une modification de la composition en AG de la bavette de flanchet i) en diminuant la teneur en AGS (- 13 %), notamment le 16:0 (- 14 %) au profit du LA (+ 52 %) et de l'ALA (+ 57 %), ii) en favorisant le dépôt dans le muscle, de CLA de type 18:2 9c,11t (+ 57 %) et son précurseur 18:1 11t (+ 48 %) (tableau 40).

**Tableau 40 : Effets du type de ration, du supplément lipidique par des graines de lin extrudées et du supplément en vitamine E sur la composition en AG des lipides totaux (% des AG totaux) du muscle *Rectus abdominis* (bavette de flanchet) chez le taurillon Charolais (n=7 /traitement pendant 97 jours) (d'après Bauchart et al., 2004).**

	AG	16:0	18:0	18:1 9c	18:1 11t	LA	ALA	CLA	AGPI/AGS
<b>Régimes</b>									
Témoin PC		22,0	14,1	27,8	5,3	8,8	1,1	1,02	0,26
PC + graine lin		19,9	17,3	25,9	5,3	8,6	3,6	0,94	0,31
PC + graine lin/vit E		21,7	15,6	27,0	6,2	6,8	3,4	1,03	0,26
Témoin EM/C		25,7	15,8	32,7	2,0	5,8	0,7	0,69	0,15
EM/C + graine de lin		22,4	17,8	28,0	2,5	7,3	3,7	0,78	0,26
EM/C + graine de lin/vit E		22,6	17,0	30,8	3,4	5,9	3,2	1,05	0,22
<b>Effets statistiques</b>									
Ration de base		0,001	0,004	0,001	0,0001	0,0001	NS	NS	0,0001
Suppléments		0,001	0,003	NS	0,065	0,007	0,001	NS	0,0047
Interaction		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Témoin vs suppl. lipidique		0,001	0,002	NS	0,067	NS	0,0001	NS	0,006
Graine de lin vs graine de Lin + vit E		NS	0,05	NS	NS	0,008	NS	NS	0,02

PC = Paille (70 %) et aliment Concentré (30 %)

EM/C = Ensilage de maïs (60 %) et Aliment Concentré (40 %)

#### 2.1.1.4.2. Effets des suppléments lipidiques des rations

##### Effets des graines oléagineuses

##### *Intérêt de l'emploi des sources végétales d'AGPI*

L'apport de suppléments lipidiques durant la phase de finition des bovins s'est développé en France comme en Europe et en Amérique du Nord car ces matières premières de haute densité énergétique sont produites en grande quantité par l'industrie permettant d'engraisser les animaux avec une conformation de carcasse satisfaisante avant l'abattage. Cette pratique a été proposée pour les vaches de réforme dont la conformation et l'état d'engraissement sont souvent très détériorés par la succession de lactations. La prise de conscience par la filière viande bovine de l'intérêt supplémentaire des apports lipidiques pour améliorer la composition nutritionnelle en AG des viandes a renforcé cette pratique et explique la recherche de sources de matières grasses apportant des AG insaturés d'intérêt pour l'alimentation humaine.

Différentes sources de matières grasses ont été testées chez le bovin (Clinquart *et al.*, 1995), l'incorporation des matières grasses s'effectuant sous forme d'huiles végétales purifiées (l'emploi de matières grasses animales tel le suif ou le saindoux n'est plus d'usage en France), de savons calciques ou de lipides micronisés (palmitostéarine) mais surtout sous forme de graines oléagineuses (lin, soja, colza, tournesol) traitées par extrusion ou par aplatisage. L'emploi de matières grasses est généralement bien toléré si les quantités apportées ne dépassent pas 5-6 % de la matière sèche ingérée.

##### *Graines de lin riches en AGPI n-3*

Des essais nutritionnels contrôlés ont porté chez le bovin sur l'emploi de graines de lin en raison de sa très grande richesse en ALA et de son intérêt pour la santé humaine. Ainsi, des essais ont été menés chez le bovin, notamment dans le cadre du programme européen HealthyBeef (2000-2003) par différentes équipes européennes et les résultats obtenus ont fait notamment l'objet d'une synthèse (Scollan *et al.*, 2005). Dans ce cadre, des essais d'alimentation pendant 70 jours chez des bouvillons Charolais x Salers avec une ration à base de foin et d'aliment concentré (45/55) supplémentée en lipides (4 % MS) par des graines de lin extrudées (très riches en ALA) ont mis en évidence une amélioration de la composition nutritionnelle de la viande (bavette de flanchet) traduite par une augmentation principalement dans les lipides neutres des teneurs en 18:1 11t (+ 42 %) et en CLA (+ 50 %) (Bauchart *et al.*, 2003) (tableau 41).

**Tableau 41 : Effet de la ration de base (foin/concentré 45/55) et d'un supplément lipidique (4 % matière sèche) riche en AGPI n-3 (graines de lin extrudées) sur les AG des lipides neutres et des lipides polaires du muscle *Rectus abdominis* (bavette de flanchet) chez le taurillon Charolais x Salers en finition (d'après Bauchart *et al.*, 2003).**

	Lipides neutres		Lipides polaires	
	Foin/concentré	Foin/Concentré + graine de lin extrudée	Foin/concentré	Foin/Concentré + graine de lin extrudée
<b>18:1 t</b>	2,71 <sup>a</sup>	3,85 <sup>b</sup>	0,27 <sup>a</sup>	1,18 <sup>b</sup>
<b>18:2 9c,11t</b>	0,53 <sup>a</sup>	0,80 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>	0,31 <sup>b</sup>
<b>16:0/18:0</b>	1,57	1,56	3,79 <sup>a</sup>	2,90 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> : P < 0,05

Un tel effet stimulant des graines oléagineuses riches en AGPI sur les CLA de la viande bovine a été régulièrement rapporté (Scollan *et al.*, 2005), les effets les plus marqués étant

obtenus avec des sources d'AGPI n-6 (tournesol, soja) par rapport aux sources d'AGPI n-3 (lin) (tableau 42).

**Tableau 42 : Variation de la teneur en acide ruménique (18:2 9c,11t) (mg/100 g tissu frais) du muscle *longissimus thoracis* en fonction de la race et du type d'animal et de son alimentation chez le bovin (d'après Scollan *et al.*, 2005).**

Race (type animal)	Aliment	18:2 9c,11t	Références
Wagyu (bouvillon)	ration + huile tournesol	134	Mir <i>et al.</i> , 2002
Wagyu x Limousin (bouvillon)	ration + huile tournesol	76	Mir <i>et al.</i> , 2004
Limousin (bouvillon)	ration + huile tournesol	59	Mir <i>et al.</i> , 2004
Charolais (bouvillon)	Ensilage d'herbe + graine de lin	36	Enser <i>et al.</i> , 1999
Holstein (taurillon)	Herbe au pâturage	17	Dannenberger <i>et al.</i> , 2005
Simmental (taurillon)	Herbe au pâturage	12	Dannenberger <i>et al.</i> , 2005

L'impact de l'apport de suppléments lipidiques par la graine de lin peut être variable selon la nature de la ration de base. Ainsi, les effets de deux rations à base de paille-concentré (70/30) ou d'ensilage de maïs-concentré (60/40) complétées avec des graines de lin extrudées ont été analysées chez le taurillon Charolais (Bauchart *et al.*, 2004). Les résultats montrent un effet positif plus marqué du régime paille-concentré/lin sur les teneurs en 18:2 9c,11t et en 18:1 11t de la viande, que le régime ensilage de maïs-concentré/lin, mais les deux régimes supplémentés en graines de lin conduisent à des effets similaires sur l'enrichissement en ALA (tableau 40).

#### *Graines de lin riche en AGPI n-3 et vitamine E*

L'introduction dans ces régimes d'un fort supplément en vitamine E (2500 Unités/animal/j), pour assurer une meilleure protection des AGPI vis-à-vis de la peroxydation, entraîne certaines modifications de la composition en AG de la viande. Ainsi, la baisse des teneurs en AGPI de type LA (- 20 %) et ALA (- 6 à - 13 %) observée pour des régimes avec lin pourrait s'expliquer par une stimulation de la biohydrogénation ruminale en présence de vitamine E, favorisant la production de 18:1 11t dont le dépôt a été accru dans la viande (+ 17 % à 36 %) (Bauchart *et al.*, 2004) (tableau 40).

#### *Autres sources d'AGPI*

Chez le bovin en finition, les graines de tournesol accroissent la teneur en LA des muscles (Bauchart *et al.*, 2000 ; Noci *et al.*, 2005 b). L'emploi de graines de colza apportant 22 % de LA et 11 % d'ALA favorise le dépôt de ces AG dans la viande chez le taurillon Charolais et il maintient le rapport n-6/n-3 à des valeurs de l'ordre de 3,3 à 4,6 avec des rations à base d'ensilage de maïs-concentré (60/40) et de paille-concentré (70/30), respectivement (Bauchart *et al.*, 2004). De même, il exerce peu d'effet sur les teneurs en CLA et en 18:1 11t.

### Effets des lipides protégés

Afin d'élever les teneurs en AGPI de la viande, différentes sources de lipides protégés de la biohydrogénation du rumen ont été proposées par l'industrie, avec la mise en œuvre de traitements chimiques ou par la chaleur sur des graines oléagineuses, par l'émulsification et l'encapsulation des huiles par des protéines ou par la formation de savons de calcium (Gulati *et al.*, 2005). L'emploi d'huile de poisson protégée offre l'avantage d'élever fortement les teneurs en EPA et DHA (Richardson *et al.*, 2004).

La potentialité de dépôt des AGPI n-3 dans les muscles a été mise en évidence expérimentalement par l'administration en continu, directement par voie duodénale pendant 70 jours, d'une quantité d'huile de lin équivalente à celle consommée sous forme de graines extrudées (400 g/j) (Durand *et al.*, 2005). Les résultats montrent un très fort afflux d'ALA dans les muscles, en accord avec celui observé dans le compartiment sanguin (Scislowski *et al.*, 2005 a et b). Ainsi, la teneur en ALA des lipides totaux de la viande a augmenté d'un facteur 16 avec le traitement par infusion duodénale de l'huile par rapport au traitement témoin sans ajout de lipides (8 % contre 0,5 % des AG totaux). Un tel traitement conduit à l'apparition d'un goût de poisson très prononcé de la viande, soulignant ainsi la nécessité d'une bonne maîtrise du niveau d'incorporation de l'ALA dans la viande.

#### **2.1.1.5. Effets des AG alimentaires sur la composition nutritionnelle des AG du foie et de la viande de veau de boucherie**

Le remplacement de la matière grasse du lait par différentes matières grasses d'origine animale notamment le suif (Jenkins et Kramer, 1986 ; Leplaix-Charlat, 1995 ; Bauchart *et al.*, 1999), ou végétale de type huile de maïs (Jenkins et Kramer, 1986), huile de soja (Leplaix-Charlat, 1995 ; Bauchart *et al.*, 1996) ou huile de coprah (Jenkins et Kramer, 1986 ; Bauchart *et al.*, 1999) entraîne, chez le veau préruminant comme chez tous les monogastriques fonctionnels, une modification rapide de la composition en AG des lipides et de leurs classes majoritaires (phospholipides et triglycérides) du foie et des muscles.

Avec un aliment conventionnel à base de suif, la composition en AG des lipides totaux du foie est très marquée par celle des phospholipides, fraction lipidique majoritaire (tableau 43).

**Tableau 43 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides, phospholipides et lipides totaux du foie chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (d'après Leplaix-Charlat, 1995).**

AG	Triglycérides	Phospholipides	Lipides totaux
12:0	1,0	0,2	0,3
14:0	7,6	0,4	1,2
14:1 9c	1,6	0,1	0,3
16:0	31,7	9,2	11,8
16:1 9c	2,6	0,9	1,1
18:0	15,4	32,7	30,8
18:1 9c	28,7	19,9	20,9
LA	5,4	21,0	19,3
ALA	0,4	2,1	1,9
20:3 n-6	0,2	0,6	0,6
ARA	2,1	6,5	6,0
EPA	0,4	0,3	0,3
22:4 n-6	tr	0,2	0,2
DPA	0,5	1,6	1,5
DHA	tr	0,2	0,2
AGS totaux	57,0	44,4	45,8
cis AGMI	34,2	21,8	23,1

tr : traces

Les AGS sont les plus abondants (~ 45 % des AG totaux), dominés par le 18:0 (~ 30 % des AG totaux) et, très secondairement, par le 16:0 (~12 %). Les teneurs en 12:0 et 14:0 sont très faibles (< 1,5 % au total) mais, dans le cas de régimes à base d'huile de coprah partiellement ou totalement hydrogénée (Jenkins et Kramer, 1986), ou non hydrogénée (Bauchart *et al.*, 1999), la somme de leurs teneurs peut dépasser 45 % dans les triglycérides alors qu'elle reste très faible dans les phospholipides (tableau 44).

Les AGMI totaux sont dominés par le 18:1 9c (~ 20 %), présent à la fois dans les phospholipides (~ 20 %) et les triglycérides (~ 29 %). Leur teneur est fortement modulée par la source de matières grasses alimentaires avec une baisse dans les triglycérides avec des huiles très insaturées (huile de soja) ou très saturées (huile de coprah) (tableau 44).

**Tableau 44 : Composition centésimale en AG majeurs (% AG totaux) des triglycérides et des phospholipides du foie chez des veaux recevant un régime lacté à base de suif (SU), d'huile de soja (SO), d'huile de coprah (CO), d'huile de coprah hydrogénée (COH) ou d'un mélange 95 % huile de coprah hydrogénée – 5 % huile de maïs (COHM) (d'après Leplaix-Charlat, 1995 et Leplaix-Charlat et al., 1996 ; Bauchart et al., 1999 ; Jenkins et Kramer, 1986).**

	Triglycérides					Phospholipides			
	SU	SO	CO	COH	COHM	SU	SO	COH	COHM
12:0	1,0	0,1	9,8	5,0	4,5	0,2	0,1	0,2	0,1
14:0	7,6	1,3	38,5	40,8	42,3	0,4	0,2	2,4	1,9
16:0	31,7	6,9	30,3	37,2	40,2	9,2	9,6	13,1	14,7
18:0	15,4	1,4	3,4	8,0	8,1	32,7	14,1	32,6	36,3
18:1 9c	28,7	13,2	11,0	4,1	2,1	19,9	14,2	31,2	15,1
LA	5,4	52,1	1,4	0,1	0,9	21,0	44,6	3,2	16,3
ALA	0,4	3,9	0,2	0	0	2,1	2,0	0,3	0,3
Teneur (g/100 g frais)	0,23	2,09	3,99	ND	ND	1,85	1,83	ND	ND

ND= non déterminé.

Les AGPI sont dominés par ceux de la série n-6 représentés principalement par le LA (~ 19 %) et l'ARA (~ 6 %) présents essentiellement dans les phospholipides (tableau 43). Les AGPI de la série n-3 sont présents surtout dans les phospholipides mais ils restent très minoritaires dans les lipides totaux (tableau 43). Comme pour les AGMI, les teneurs en LA et ALA augmentent très fortement dans les triglycérides (x 10) et plus faiblement dans les phospholipides (x 2,5 pour le LA) avec un aliment d'allaitement à base d'huile de soja (Leplaix-Charlat, 1995 ; Leplaix-Charlat et al., 1996) (tableau 44).

Quantitativement, l'apport d'huile de soja ou de colza augmente la teneur en triglycérides du foie d'un facteur 8 (Leplaix-Charlat et al., 1996) et 16 (Bauchart et al., 1999) respectivement, mais, dans le cas de l'huile de soja, elle ne modifie pas la teneur en phospholipides (Leplaix-Charlat et al., 1996) (tableau 44).

Dans le cas de la viande de veau de boucherie, les rares études sur les lipides et leurs AG ont porté principalement sur la bavette de flanchet (*Rectus abdominis*) (Leplaix-Charlat, 1995 ; Bauchart et al., 1996), avec quelques données sur le filet (*longissimus thoracis*), le cœur (Bauchart et al., 1999) et sur la macreuse à bifteck (*Triceps*) (Jenkins et Kramer, 1986). Dans le cas général d'un aliment d'allaitement à base de suif, la composition en AG des lipides totaux du muscle *Rectus abdominis* est plus marquée par celle des phospholipides (0,72 % tissu frais) que par celle des triglycérides (0,25 % du tissu frais), la teneur en lipides totaux étant relativement stable (~ 1,1 % du tissu frais) (tableau 45).

**Tableau 45 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides, des phospholipides et des lipides totaux du muscle *Rectus abdominis* chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (d'après Leplaix-Charlat, 1995).**

AG (% AG totaux)	Triglycérides	Phospholipides	Lipides totaux
12:0	1,0	2,0	1,8
14:0	5,7	1,2	2,1
14:1 9c	0,9	tr	0,2
16:0	24,0	14,0	15,9

AG (% AG totaux)	Triglycérides	Phospholipides	Lipides totaux
16:1 9c	4,0	3,0	3,2
18:0	12,5	16,7	15,9
18:1 9c	45,0	18,5	23,5
LA	3,1	25,2	21,0
ALA	0,2	0,7	0,6
20:3 n-6	tr	1,4	1,1
ARA	tr	8,8	7,1
EPA	0,3	2,4	2,0
22:4 n-6	0,2	0,7	0,6
DPA	0,2	1,8	1,5
DHA	tr	1,1	0,9
AGS	44,7	35,9	37,6
cis AGMI	51,0	22,0	27,5
Teneur (g/100 g frais)	0,25	0,72	1,12

Les AGS (~ 38 % des AG totaux, dominés par le 18:0 et le 16:0 (~ 16 % chacun) et les AGPI (~ 35 % des AG totaux) sont majoritaires. Les teneurs en 12:0 et 14:0 sont modestes (< 4 % au total) mais, dans le cas de régimes à base d'huile de coprah (Bauchart *et al.*, 1999), la somme de leurs teneurs peut atteindre 26 % dans les triglycérides (~ 7 % avec le régime suif) et, comme dans le foie, seulement 5 % dans les phospholipides (~ 3 % avec le régime suif) (tableau 46). Une telle ration favorise en effet l'accumulation d'AGS.

**Tableau 46 : Composition centésimale en AG (% des AG totaux) des triglycérides et phospholipides du muscle *Rectus abdominis* chez le veau recevant un régime lacté à base de suif (SU), de soja (SO) ou d'huile de coprah (CO) (d'après Leplaix-Charlat, 1995 et Bauchart *et al.*, 1999).**

AG	Triglycérides			Phospholipides		
	SU	SO	CO	SU	SO	CO
12:0	1,0	0,4	9,5	2,0	0,4	2,5
14:0	5,7	1,5	17,1	1,2	0,5	2,4
16:0	24,0	15,2	29,0	14,0	10,1	12,5
18:0	12,5	8,1	10,9	16,7	17,1	13,8
18:1 9c	45,0	26,5	22,5	18,5	13,2	22,4
LA	3,1	34,1	1,2	25,2	35,4	13,4
ALA	0,2	2,0	0,1	0,7	1,0	0,9
Teneur (g/100 g frais)	0,25	0,61	1,38	0,72	0,62	0,70

Les AGMI des lipides totaux sont dominés par le 18:1 9c (~ 23 % des AG totaux). Leur teneur est fortement modifiée par la source de matières grasses alimentaires avec une baisse dans les triglycérides avec l'huile de soja très insaturée (- 41 %) au profit du LA (x 10) ou avec l'huile de coprah très saturée (- 50 %) au profit du 14:0 + 12:0 (+ 75 %) (tableau 46).

Les AGPI des lipides totaux sont dominés, comme dans le foie, par les AGPI de la série n-6 représentés principalement par le LA (~ 21 %) et l'ARA (~ 7 %) lesquels sont présents essentiellement dans les phospholipides (~ 36 %) par rapport aux triglycérides (~ 3 %)

(tableau 45). Une telle richesse en AGPI n-6 des phospholipides musculaires est également observée par Jenkins et Kramer (1986). Ces auteurs ont montré la forte présence de LA et d'ARA dans les fractions purifiées des phospholipides majeurs de la viande telles la phosphatidylcholine (21 et 3 %, respectivement) et la phosphatidyléthanolamine (12 et 13 %, respectivement). Les AGPI de la série n-3 sont présents surtout dans les phospholipides sous forme d'ALA (0,6 %) mais surtout sous forme d'EPA (2,0 %) et de DPA (1,5 %) (tableau 45), le DHA étant très peu présent dans la viande de veau comme dans celle du bovin adulte (tableau 33). Globalement, les AGPI n-3 restent très minoritaires dans les lipides totaux. Comme pour les AGMI, les teneurs en LA et en ALA augmentent très fortement dans les triglycérides (x 10) et plus faiblement dans les phospholipides (x 2,5 pour le LA) avec un aliment d'allaitement à base d'huile de soja (Leplaix-Charlat, 1995) (tableau 46). Un tel régime engendre l'infiltration lipidique du foie dont les AG sont plus sensibles aux phénomènes de lipoperoxydation. En revanche, avec un régime à base d'huile de coprah, la teneur en LA dans les triglycérides et les phospholipides diminue de 60 et 47 % respectivement alors que pour l'ALA, elle n'est pas modifiée de façon significative (tableau 46).

## 2.1.2. Viande ovine

### 2.1.2.1. Composition moyenne en lipides des viandes

#### 2.1.2.1.1. Teneurs en lipides totaux, lipides neutres et polaires et AG totaux

Les profils en AG des lipides totaux dans le muscle *longissimus thoracis* (filet) chez des agneaux mâles de race Ile-de-France abattus au poids de 35 kg sont présentés dans les tableaux 47, 48 et 49).

**Tableau 47 : Teneurs en lipides et en AG totaux et composition centésimale en AG des lipides totaux du muscle long dorsal (*longissimus thoracis*) en fonction du mode d'alimentation chez des agneaux mâles de race Ile-de-France<sup>1</sup>.**

Traitements	Régime Herbe	Régime Herbe puis Foin/Concentré	Régime Foin/Concentré	SEM
Lipides totaux (mg/100 g tissu frais)	2222 <sup>a</sup>	2171 <sup>a</sup>	2525 <sup>a</sup>	110
AG totaux (mg/100 g tissu frais)	1577	1673	1811	109
<b>AG (% AG totaux)</b>				
AGS linéaires	44,2	44,3	44,5	3,2
12:0	0,7	0,5	0,5	0,2
14:0	5,0	4,0	4,4	1,2
16:0	20,7 <sup>a</sup>	22,5 <sup>b</sup>	23,9 <sup>b</sup>	2,0
17:0	0,9 <sup>a</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>b</sup>	0,2
18:0	15,8 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	13,8 <sup>b</sup>	2,2
AGS ramifiés	2,2 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	1,1
AGS totaux	46,4	45,8	45,9	3,1
16:1 9 <sup>t</sup>	0,4	0,3	0,3	0,1
18:1 11 <sup>t</sup>	4,4 <sup>a</sup>	2,0 <sup>b</sup>	1,6 <sup>b</sup>	2,1
cis AGMI	28,9 <sup>a</sup>	34,6 <sup>b</sup>	35,7 <sup>b</sup>	3,3
16:1 9 <sup>c</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	2,2 <sup>c</sup>	0,2

Traitements	Régime Herbe	Régime Herbe puis Foin/Concentré	Régime Foin/Concentré	SEM
18:1 9c	23,4 <sup>a</sup>	29,9 <sup>b</sup>	31,4 <sup>b</sup>	3,4
LA	5,8 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	6,4 <sup>b</sup>	1,3
20:2 n-6	0,2	0,3	0,3	0,2
ARA	2,7	2,5	2,6	1,0
ALA	2,6 <sup>a</sup>	1,2 <sup>b</sup>	1,3 <sup>b</sup>	0,5
EPA	1,8 <sup>a</sup>	1,2 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	0,4
DPA	2,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	0,6
DHA	0,6	0,5	0,5	0,2
18:2 9c,11t	1,1 <sup>a</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,7 <sup>b</sup>	0,3
Total CLA	1,4 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	0,9 <sup>c</sup>	0,3

<sup>1</sup>.Alimentation après sevrage et jusqu'à l'abattage soit totalement au pâturage (régime herbe, n=10), au pâturage et finis en bergerie avec un mélange foin/concentré (régime herbe puis foin/concentré, n=10), soit totalement avec un régime à base de foin et d'aliment concentré (régime foin/concentré, n=10) (d'après Aurousseau et al., 2007). <sup>a,b,c</sup> P<0,05.

**Tableau 48 : Composition en différents isomères *trans* du 18:1 (en % des 18:1 *trans*) des AG du muscle *longissimus thoracis* chez l'agneau après sevrage, nourri au pâturage ou recevant une ration à base d'aliment concentré (d'après Nuernberg et al., 2005 b).**

Isomères <i>trans</i> du 18:1 du muscle <i>longissimus thoracis</i> (en % des 18:1 t totaux)				
Alimentation	Pâturage		Concentré	
	Moyenne	SEM	Moyenne	SEM
18:1 4t	0,52	0,2	0,27	0,2
18:1 5t	0,27	0,6	2,01	0,6
18:1 6/7/8t	1,20	0,3	0,78	0,3
18:1 9t	2,37	0,8	2,62	0,7
18:1 10t	0,85	1,8	3,36	0,85
18:1 11t	61,71 <sup>a</sup>	3,6	38,81 <sup>b</sup>	3,4
18:1 12t	6,34	0,6	7,67	0,6
18:1 13t	6,28	0,9	8,43	0,8
18:1 14t	8,65 <sup>b</sup>	1,8	16,40 <sup>a</sup>	1,6
18:1 15t	4,49 <sup>b</sup>	0,5	6,24 <sup>a</sup>	0,5
18:1 16t	7,32 <sup>b</sup>	1,9	13,42 <sup>a</sup>	1,7

<sup>a,b</sup> P<0,05

Tableau 49 : Composition en différents isomères *trans* de l'acide linoléique conjugué (en % des CLA totaux) des AG du muscle *longissimus thoracis* chez l'agneau après sevrage, nourri au pâturage ou recevant une ration à base d'aliment concentré (d'après Nuernberg et al., 2005b).

Isomères <i>trans</i> de l'acide linoléique conjugué du muscle <i>longissimus thoracis</i> (% CLA totaux)				
Alimentation	Pâturage		Concentré	
	Moyenne	SEM	Moyenne	SEM
<b>18:2 <i>t,t</i></b>	<b>7,61</b>	<b>1,12</b>	<b>5,82</b>	<b>0,95</b>
18:2 12 <i>t</i> ,14 <i>t</i>	0,06	0,05	0,16	0,05
18:2 11 <i>t</i> ,13 <i>t</i>	2,15	0,51	1,06	0,51
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>t</i>	3,12	0,40	2,33	0,40
18:2 9 <i>t</i> ,11 <i>t</i>	0,50	0,10	0,50	0,10
18:2 8 <i>t</i> ,10 <i>t</i>	0,80	0,16	0,90	0,16
18:2 7 <i>t</i> ,9 <i>t</i>	0,98	0,19	0,87	0,19
<b>18:2 <i>c,t</i> et <i>t,c</i></b>	<b>92,4</b>	<b>1,08</b>	<b>94,19</b>	<b>1,10</b>
18:2 11 <i>t</i> ,13 <i>c</i>	5,60	0,50	4,17	0,50
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,06 <sup>a</sup>	0,06	0,26 <sup>b</sup>	0,06
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	80,67	1,26	82,30	1,26
18:2 8 <i>t</i> ,10 <i>c</i>	2,06	0,14	1,88	0,14
18:2 7 <i>t</i> ,9 <i>c</i>	4,00 <sup>a</sup>	0,44	5,58 <sup>b</sup>	0,44

<sup>a,b</sup> P<0,05

Ainsi, les lipides sont peu abondants dans ce type de viande issue d'animaux jeunes (160 jours) (2,1 à 2,5 % du tissu frais), la teneur en AG totaux correspondant en moyenne à 70 % des lipides totaux pour les deux types de rations classiquement proposées en France (herbe au pâturage ; ration à base de foin et d'aliment concentré) (tableau 47). Ceci s'explique par une teneur en triglycérides de 1,8 (régime herbe) à 3 fois (régime concentré) supérieure à celle des phospholipides (tableaux 50 et 51).

Tableau 50 : Teneur, composition centésimale en AG et valeurs de différents rapports de familles d'AG des phospholipides totaux du muscle long dorsal (*longissimus thoracis*) chez des agneaux mâles de race Ile-de-France recevant un régime à base d'herbe ou à base de foin et de concentré<sup>1</sup>.

Traitements	Régime Herbe	Régime Foin/Concentré	SEM
Phospholipides totaux (mg/100 g tissu frais)	630 <sup>a</sup>	590 <sup>a</sup>	80
<b>AG (% AG totaux)</b>			
AGS linéaires	44,4 <sup>a</sup>	44,1 <sup>a</sup>	3,1
12:0	0,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>a</sup>	0,2
14:0	2,3 <sup>a</sup>	2,3 <sup>a</sup>	0,8
16:0	22,4 <sup>a</sup>	21,4	2,7
18:0	16,9	16,7	2,0
AGS ramifiés	2,2	2,6	0,8
AGS totaux	46,6	46,7 <sup>a</sup>	3,0

Traitements	Régime Herbe	Régime Foin/Concentré	SEM
16:1 9f	0,6	0,6	0,3
18:1 11f	0,9	0,9	0,4
AGMI <i>cis</i>	30,3 <sup>a</sup>	24,5 <sup>b</sup>	3,9
16:1 9c	0,6	0,7	0,3
18:1 9c	28,8 <sup>a</sup>	23,3 <sup>b</sup>	4,0
LA	9,7 <sup>a</sup>	14,6 <sup>b</sup>	2,2
ARA	2,5 <sup>a</sup>	4,9 <sup>b</sup>	1,1
ALA	2,5 <sup>a</sup>	0,9 <sup>b</sup>	0,5
EPA	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,3
DPA	0,8	0,8	0,2
18:2 9c,11f	0,2 <sup>a</sup>	0,1 <sup>b</sup>	0,1
Total CLA	0,5 <sup>a</sup>	0,2 <sup>b</sup>	0,1

<sup>1</sup>. Alimentation après sevrage et jusqu'à l'abattage soit totalement au pâturage (régime herbe, n=10), avec un régime à base de foin et d'aliment concentré (régime foin/concentré, n=10) (d'après Aurousseau et al., 2007). <sup>a,b</sup> P<0,05

**Tableau 51 : Teneur, composition centésimale en AG et valeurs de différents rapports de familles d'AG des triglycérides totaux du muscle long dorsal (*longissimus thoracis*) chez des agneaux mâles de race Ile-de-France recevant un régime à base d'herbe ou à base de foin et- de concentré<sup>1</sup>.**

Traitements	Régime Herbe	Régime Foin/Concentré	SEM
Triglycérides totaux (mg/100 g tissu frais)	1160	1700	620
<b>AG (% AG totaux)</b>			
AGS linéaires	49,0	49,6	3,2
12:0	0,5	0,5	0,4
14:0	4,6	4,5	2,1
16:0	20,0 <sup>a</sup>	25,4 <sup>b</sup>	2,9
17:0	1,3	1,1	0,4
18:0	20,9 <sup>a</sup>	16,7 <sup>b</sup>	3,6
AGS ramifiés	2,2 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	0,6
AGS totaux	51,2	51,1	3,0
16:1 9f	0,7	1,1	0,3
18:1 11f	6,2 <sup>a</sup>	3,6 <sup>b</sup>	1,8
<i>cis</i> AGMI	30,0 <sup>a</sup>	36,9 <sup>b</sup>	3,8
16:1 9c	0,7 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	0,4
18:1 9c	27,5 <sup>a</sup>	33,5 <sup>b</sup>	3,9
LA	1,4 <sup>a</sup>	2,7 <sup>b</sup>	1,0
ALA	1,1 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>	0,4
18:2 9c,11f	1,6 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,2
Total CLA	1,7 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>	0,2

<sup>1</sup>. Alimentation après sevrage et jusqu'à l'abattage soit totalement au pâturage (régime herbe, n=10), avec un régime à base de foin et d'aliment concentré (régime foin/concentré, n=10) (d'après Aurousseau et al., 2007). <sup>a,b</sup> P<0,05

### 2.1.2.1.2. Composition en AG des lipides, phospholipides et triglycérides totaux

#### AG saturés

Les AGS représentent une des classes majeures des AG de la viande d'agneau avec une teneur de l'ordre de 46 % des AG totaux dans le muscle *longissimus thoracis* chez des agneaux mâles Ile-de-France nourris à l'herbe (agneaux au pâturage) comme avec une ration à base de foin et d'aliment concentré (agneaux de bergerie) (Aurousseau *et al.*, 2007) (tableau 47). Qualitativement, la teneur en 16:0 est de 15 % plus élevée chez les agneaux de bergerie alors que celle du 18:0 est de 14 % plus élevée chez les agneaux au pâturage. Ces effets du régime « pâturage » sont confirmés chez différentes races européennes de mouton (Diaz *et al.*, 2002 ; Santos-Silva *et al.*, 2002 ; Nuernberg *et al.*, 2005 b). Ces effets opposés et de même intensité des régimes sur ces deux AGS linéaires majeurs expliquent l'absence d'effets globaux des deux types de rations pour agneau sur les AGS linéaires. En revanche, la teneur en AG ramifiés totaux est 1,6 fois plus élevée chez les agneaux au pâturage que ceux de bergerie (tableau 47).

Pour l'ensemble des AGS, le remplacement à mi-parcours de l'aliment à base d'herbe par l'aliment concentré conduit à des teneurs quantitatives et qualitatives strictement intermédiaires à celles des deux régimes distribués pendant la totalité de l'élevage (tableau 47).

Dans le cas de la fraction phospholipides de la viande, les AGS linéaires représentent en moyenne 44 % des AG totaux, soit 22 % de 16:0 et 16,8 % de 18:0 (tableau 50). Ces valeurs ne sont pas significativement influencées par la nature de la ration (Aurousseau *et al.*, 2004). De même, la teneur en AG ramifiés qui s'élève en moyenne à 2,4 % des AG totaux, ne varie pas significativement avec le type d'aliment (tableau 50). Les mêmes observations concernent les AGS des triglycérides dont la teneur en AGS linéaires est en moyenne de 49,0 à 49,6 %, et celle en AGS ramifiés de 1,5 à 2,2 % (tableau 51).

#### AG monoinsaturés

##### *AG monoinsaturés cis*

La teneur des AGMI *cis* varie de 29 à 36 % des AG des lipides totaux dans le muscle *longissimus thoracis* des agneaux Ile-de-France de type pâturage et bergerie, respectivement (Aurousseau *et al.*, 2007) (tableau 47). Ils sont représentés principalement par le 18:1 9c dont la teneur varie de 81 à 88 % des AGMI *cis*. Le 18:1 9c ne représente que 23,4 % des AG totaux avec le régime « herbe » mais il atteint 31,4 % avec un régime « bergerie » à base de foin et de concentré (tableau 47).

Dans le cas des phospholipides, la teneur en AGMI *cis* est plus élevée avec le régime « herbe » (30,3 %) qu'avec un régime en bergerie riche en concentré (24,5 %) (tableau 50). Les tendances sont inverses dans le cas des triglycérides dont la teneur en AGMI *cis* est significativement plus élevée avec le régime « bergerie » (36,9 %) qu'avec le régime à base d'herbe (30,0 %) (tableau 51).

##### *AG monoinsaturés trans*

Les AGMI *trans* représentent une classe minoritaire des AGMI dans le muscle *longissimus thoracis*, leur teneur étant comprise entre 1,9 et 4,8 % des AG totaux (tableau 47). Ils sont représentés principalement par les isomères *trans* du 18:1 (85-92 % des AGMI *trans*) et secondairement par ceux du 16:1 9t (8-15 %). L'acide vaccénique est 2,8 fois plus abondant chez l'agneau alimenté au pâturage (4,4 % des AG totaux) que chez l'agneau en bergerie (1,6 %) (tableau 47). Un même effet a été confirmé chez d'autres races d'agneaux recevant une ration à base d'herbe comparée à une ration à base d'aliment concentré (Bessa *et al.*, 2005 ; Nuernberg *et al.*, 2005 b). La séparation complète des différents isomères *trans* du 18:1 par CLHP suivi de CPG a montré que l'isomère 11t

représente plus de 60 % des *trans* 18:1 avec le régime « pâturage » mais seulement 39 % avec le régime « bergerie » (tableau 48) (Nuernberg *et al.*, 2005 b). Les autres isomères des *trans* 18:1 présents dans les AG du muscle *longissimus thoracis* d'agneaux dont la teneur augmente avec le régime à base d'aliment concentré par rapport au pâturage sont les formes 12*t* (7,7 contre 6,3 % des *trans* 18:1), 13*t* (8,4 contre 6,3 %) et 15*t* (6,2 contre 4,5 %) mais surtout 10*t* (3,4 contre 0,8%), 14*t* (16,4 contre 8,7 %), et 16*t* (13,4 contre 7,3 %) (tableau 48).

Dans le cas des phospholipides, la teneur en AGMI *trans* reste stable à 1,5 % (tableau 50) alors que dans les triglycérides, elle est significativement plus élevée avec le régime « herbe » (7,6 %) comparé au régime « bergerie » (4,6 %) (tableau 51).

#### AG polyinsaturés

##### *Acides octadécadiénoïques non conjugués*

Les AGPI de type octadécadiénoïque sont représentés dans le muscle *longissimus thoracis* essentiellement par le LA (5,8-6,4 % des AG totaux). Sa teneur est plus élevée de 10 % avec une ration à base de concentré qu'avec une ration à base d'herbe (tableau 47). Ces différences se vérifient dans le cas des phospholipides (14,6 contre 9,7 %) mais pas dans le cas des triglycérides dont la teneur en LA reste stable avec les deux types de régime (tableau 47) (Aurousseau *et al.*, 2007).

##### *Acides octadécadiénoïques conjugués*

Les différents CLA *c,c*, CLA *c,t* et CLA *t,t* représentent un ensemble d'AG quantitativement limité (0,9-1,4 % des AG totaux) dans la viande ovine, mais avec une valeur généralement supérieure à celle des CLA des viandes bovines (<1 %). L'isomère 18:2 9*c*,11*t* représente la forme dominante (80,7-82,3 % des CLA totaux) bien détectable dans les AG totaux du muscle *longissimus thoracis*. L'analyse comparée des différents isomères des CLA par CLHP réalisée dans le muscle *longissimus thoracis* chez des agneaux nourris à l'herbe ou avec une ration à base de foin et d'aliment concentré (Nuernberg *et al.*, 2005 b ; tableau 49) montre qu'il n'existe pas de différences marquées de composition en isomères de CLA entre les deux systèmes d'alimentation des agneaux. Les formes secondaires des CLA sont les formes *t,t* de type 11,13 (1,1-2,2 % des CLA totaux) et 10,12 (2,3-3,1 %) et surtout les formes *c,t* de type 11,13 (4,2-5,6 %) et *t,c* de type 8,10 (1,9-2,1 %) et 7,9 (4,0-5,6 %). Comme chez le bovin, les CLA s'accumulent davantage dans les triglycérides (de 0,7 à 1,7 %) (tableau 50) que dans les phospholipides (de 0,2 à 0,5 %) (tableau 49).

##### *Acides octadécatriénoïques*

Les acides octadécatriénoïques sont représentés principalement par l'ALA. Sa teneur s'élève à 1,3 à 2,6 % des AG totaux dans le muscle *longissimus thoracis* chez des agneaux nourris à l'herbe ou avec une ration à base de foin et d'un aliment concentré (Aurousseau *et al.*, 2007) (tableau 47). Ils sont présents principalement dans les phospholipides (0,9-2,5 %) (tableau 50), et secondairement dans les triglycérides (0,7-1,1 %) (tableau 51).

##### *AG polyinsaturés n-6 et n-3 à longue chaîne*

La viande d'agneau (filet), comme celle des bovins, apporte des quantités importantes mais variables (selon les conditions d'alimentation des animaux) d'AGPI-LC tant de la famille n-6 (3,7-4,1 % des AG totaux) que n-3 (3,1-5,8 %) (Aurousseau *et al.*, 2007) (tableau 47). Les AGPI-LC n-6 sont dominés dans le filet d'agneau par l'ARA (2,6 %) et très secondairement par le 20:2 n-6 (0,2-0,3 %) alors que les AGPI-LC n-3 sont dominés par le DPA (1,4-2,4 %) et secondairement par l'EPA (1,0-1,8 %) et le DHA (0,5-0,6 %), lesquels sont préférentiellement présents dans les phospholipides (1,2-1,4 %).

### 2.1.2.1.3. Effets des suppléments lipidiques riches en AGPI sur les AG de la viande

#### Effets de l'apport de sources riches en AGPI n-3

Les effets de l'apport d'AGPI n-3 dans les rations sur la viande d'agneau sont peu documentés par rapport à la viande bovine. Des essais réalisés par le groupe de Bristol en Grande Bretagne ont testé les effets, notamment chez des agneaux de race Suffolk âgés de 8 semaines, de plusieurs sources d'apports d'AG riches en AGPI n-3 : i) d'origine végétale (graines de lin entières apportant 25,5 g de ALA/kg d'aliment), ii) d'origine animale (huile de poisson apportant 8,4 g d'ALA et 9 g d'AGPI-LC n-3 /kg d'aliment), iii) issues de la combinaison des deux sources végétale et animale (apportant 19,5 g d'ALA et 4,6 g d'AGPI n-3 longue chaîne/kg d'aliment) (Wachira *et al.*, 2002). Les essais zootechniques montrent un effet dépressif spécifique de l'huile de poisson sur l'ingestion et sur les performances de croissance.

Les effets des suppléments lipidiques riches en AGPI n-3 sur la composition du muscle *longissimus thoracis* sont variables selon la source alimentaire. Les AGS sont partiellement influencés par les différentes sources lipidiques alimentaires, notamment le 16:0 (de 21,1 à 25,1 % des AG totaux) et le 18:0 (de 12,5 à 15,6 %) (tableau 52). En revanche, la teneur en AGMI *trans* est fortement augmentée par les AGPI n-3 apportés par les graines de lin entières (x 1,7) et surtout par les AGPI-LC n-3 des régimes à base d'huile de poisson apportée seule (x 2,1), ou en complément des graines de lin (x 2,4) (tableau 52). Cette augmentation est corrélée, comme chez le bovin, à une augmentation de l'isomère 18:2 9c,11t mais l'effet est lié particulièrement aux régimes à base de graines de lin apportant principalement de l'ALA. Par contre, toutes ces sources d'AGPI diminuent la teneur en 18:1 9c, notamment celles à base d'huile de poisson (- 20 à - 30 %).

**Tableau 52 : Effet du type de matières grasses alimentaires sur la teneur en AG totaux et sur le profil en AG des lipides totaux du *longissimus thoracis* chez des moutons de race Suffolk<sup>1</sup>.**

Traitements	Témoin	Graines de lin	Huile de poisson	Graines de lin + huile de poisson	SD
AG totaux (mg/100 g tissu frais)	3148	3095	3659	3030	492
<b>AG (% AG totaux)</b>					
12:0	0,19	0,18	0,20	0,15	0,04
14:0	2,5	2,4	2,7	2,3	0,3
16:0	25,1	21,1	24,3	23,2	0,9
18:0	14,7	15,6	12,5	13,4	1,1
<i>trans</i> AGMI	3,8	6,4	8,1	9,1	1,0
16:1 9c	1,9	1,5	2,3	1,7	0,2
18:1 9c	34,1	31,3	24,4	27,3	1,9
LA	4,8	3,6	3,1	3,4	0,6
18:2 9c,11t	0,9	1,4	1,1	1,4	0,2
ARA	1,0	0,7	0,6	0,7	0,3
ALA	1,4	3,1	1,4	2,3	0,3
EPA	0,8	0,9	2,4	1,5	0,4

Traitements	Témoïn	Graines de lin	Huile de poisson	Graines de lin + huile de poisson	SD
DPA	0,7	0,7	1,4	1,0	0,2
DHA	0,3	0,3	1,0	0,6	0,1

<sup>1</sup>Alimentation après sevrage et jusqu'à l'abattage avec des rations à base de foin et de concentré contenant des matières grasses (6 % de la MS) de type mégalac (régime témoin, n=8) ou la même ration supplémentée en matières grasses très insaturées de type graines de lin (n=8), huile de poisson (huile de hareng, n=8), ou le mélange (50/50 en poids) de graines de lin et d'huile de poisson (n=8) (d'après Wachira et al., 2002).

Les effets des AGPI n-3 alimentaires sur les teneurs en AGPI de la viande sont également très marqués chez l'agneau avec systématiquement une baisse des teneurs des différents AGPI n-6, notamment du LA et de l'ARA. La teneur en ALA augmente principalement avec les régimes enrichis en graines de lin apportées seules (+ 120 %) ou associées à l'huile de poisson (+ 64 %) (tableau 52). Réciproquement, l'apport d'huile de poisson seule ou avec les graines de lin augmente la teneur en AGPI LC n-3 d'un facteur 2,7 à 3,0.

#### Effets de l'apport de sources riches en LA

L'apport de graines de soja ou de tournesol riches en LA accroît de façon équivalente la proportion du LA dans les AG des muscles de la région lombaire et des pattes arrières chez des agneaux mâles de race Sarde (Rizzi et al., 2002).

## **2.2. Viande de porc**

Les porcs sont abattus en France à 105–110 kg de poids vif (soit de 150 à 180 jours d'âge). La masse musculaire représente en moyenne de 55 à 60 % et la masse adipeuse de 25 % à 20 % du poids corporel. Cette masse adipeuse a fortement diminué depuis 50 ans en particulier grâce à l'application d'un programme de sélection basé sur l'augmentation de la vitesse de croissance et la réduction de l'épaisseur du tissu adipeux dorsal, ainsi qu'à l'amélioration des connaissances sur les besoins nutritionnels des porcs. L'adiposité est ainsi passée de près de 40 % à 20 % du poids de la carcasse.

Cette masse adipeuse se répartit de la manière suivante :

- 60 % dans les tissus adipeux de couverture, soit 12 % du poids de la carcasse,
- 30 % dans les tissus adipeux intermusculaires, soit 6 % du poids de la carcasse,
- 5 à 7 % dans les tissus adipeux internes, soit de 1 à 1,5 % du poids de la carcasse,
- quelques % dans le tissu adipeux intramusculaire soit moins de 1 % du poids de la carcasse.

De ce fait, la teneur en lipides totaux des muscles est faible (moins de 2 % dans la longe, muscle *longissimus dorsi*, à la base du rôti) ce qui fait de la viande de porc une viande maigre quand le gras visible est écarté.

Les teneurs en lipides de différentes pièces de la carcasse ou de produits transformés de porc sont rapportées dans le tableau 53.

**Tableau 53 : Teneur en lipides (% du poids frais) de différents tissus de la carcasse de porc ou de produits de charcuterie fabriqués à partir de ces tissus.**

Tissus	Teneur en lipides (%)	Produits de charcuterie	Teneur en lipides (%)
Bardière (gras sous-cutané dorsal)	70 à 75	Saucisse de Francfort	24
Panne (gras périrénal)	75 à 80	Salami	35 à 45
Tissu adipeux intermusculaire du jambon	60 à 65	Jambon blanc supérieur avec couenne	10 à 12
Muscle <i>longissimus dorsi</i>	1,5 à 2,5	Jambon découenné dégraissé	2 à 3
Muscle <i>semimembranosus</i>	1,7 à 2,7	Andouille	15 à 18
Muscle <i>psaos major</i>	2 à 4	Saucisson cuit	15 à 20
		Pâtés de campagne	25 à 35

Le muscle *longissimus dorsi* fait partie du rôti, le muscle *semimembranosus* est l'un des muscles du jambon, le muscle *psaos major* est le filet mignon.

Chez un même animal, la composition en AG varie en fonction de la localisation des tissus. Les tissus les plus internes sont reconnus comme ayant une composition en AG plus saturés. Les tissus adipeux intermusculaires ont une teneur en lipides plus faible que les tissus adipeux externes (Monziols *et al.*, 2007). Il est à remarquer que le tissu adipeux sous-cutané du dos (bardière) est constitué de 2 couches distinctes séparées par une trame de collagène. Il existe une différence de 2 à 4 % dans la teneur en lipides entre ces couches. La couche externe contient davantage de lipides (en moyenne 70 %) et est la plus insaturée afin de faciliter les échanges membranaires (Camara *et al.*, 1996). Certaines races de porcs très grasses comme les porcs basques peuvent même présenter 3 couches de tissus adipeux (Alfonso *et al.*, 2005).

Dans le tableau 54 sont rapportées les compositions moyennes en AG de différents tissus issus de porcs élevés en production standard.

**Tableau 54 : Composition moyenne des principaux gras de la viande de porc standard (en % AG).**

	Bardière <sup>1</sup>	Panne <sup>2</sup>	<i>Longissimus dorsi</i> <sup>3</sup>
Nombre de porcs	40	30	30
Lipides totaux (%)	75	79	2
14:0	1,5	1,4	1,25
16:0	24,6	28,5	24,21
16:1 9c	2,9	1,5	3,09
18:0	11,3	19,7	12,98
18:1 9c	44,4	34	38,61
LA	12	13	13,17
20:0	0,1	0,3	0,28
ALA	1,1	0,5	0,50
20:1 11c	0,8	0,7	0,70
20:2	0,4	0,3	0,21
C20:3 n-3	0,3	0,3	0,40
ARA	0,2	0,3	3,14
<b>AGS</b>	37,5	49,9	38,7
<b>AGMI</b>	48,1	36,2	42,4
<b>AGPI</b>	14,0	14,4	17,4

(1) d'après Rampon *et al.*, 1994, (2) d'après Lizardo *et al.*, 2002, (3) d'après Wilfart *et al.*, 2004

Les facteurs d'élevage influencent la quantité et la qualité des AG déposés dans la viande de porc. L'importance des variations dépend de ces différents facteurs (tableau 55).

**Tableau 55 : Importance des facteurs d'élevage sur la quantité et la qualité des AG déposés dans la viande de porc.**

Facteurs d'élevage identifiés	Quantité d'AG	Profil des AG
Génétique	+++	+
Environnement climatique	++	+
Mode d'alimentation	+	+
Castration	+	-
Aliment, lipides alimentaires	+	++++

++++, effet très marqué ; - absence d'effet.

L'influence de ces différents facteurs est détaillée ci-dessous.

### 2.2.1. Niveau d'alimentation

Les besoins nutritionnels du porc en croissance sont à présent bien connus. Un excès d'aliment ou d'énergie par rapport à ses besoins provoque une augmentation de l'adiposité des animaux (Henry, 1977). En pratique, une telle situation est rarement constatée, la plupart des éleveurs maîtrisant bien cet aspect.

Récemment, de nouvelles approches en termes de distribution d'aliment ont été étudiées. Une restriction alimentaire pendant une partie de la croissance a pour effet de diminuer le gain moyen quotidien. Une alimentation plus libérale pendant la période suivante permet de bénéficier d'une croissance compensatrice avec pour autre conséquence une augmentation de la teneur en lipides de la viande. Ceci peut avoir un effet favorable sur la flaveur de la viande tout en permettant d'augmenter l'âge à l'abattage du porc, ce qui constitue l'une des conditions des cahiers des charges de certaines productions « label ». Toutefois, selon les études, des résultats opposés sont parfois obtenus et la composition en AG de la viande ne semble pas modifiée (Heyer et Lebret, 2007).

### 2.2.2. Castration

Elle est pratiquée en France sur tous les porcs mâles à l'exception d'une minorité de verrats réservés pour la reproduction. Elle a pour but d'éviter les défauts d'odeurs sexuelles, notamment liés à l'accumulation d'androsténone et de scatol dans les graisses, qui apparaissent après un poids vif de 80 kg (Bonneau, 1988). Au stade commercial d'abattage, les porcs mâles entiers sont les plus maigres, les porcs mâles castrés sont les plus gras et les femelles sont intermédiaires. Les porcs mâles castrés peuvent présenter une adiposité de carcasse de 2 à 3 % plus élevée que celle des femelles et leurs tissus adipeux peuvent également contenir 2 à 4 % de lipides de plus. En revanche, les teneurs en lipides intramusculaires sont peu différentes (0,1 à 0,4 % de lipides intramusculaires) (Barton-Gade, 1987 ; Guéblez *et al.*, 1993). Par ailleurs, les différences d'adiposité entre femelles et mâles castrés tendent à s'estomper avec la sélection des animaux basée sur leur vitesse de croissance. Les porcs mâles castrés représentent plus de 50 % de la production car une partie des femelles est conservée pour la reproduction. La viande de porcs mâles entiers (production quantitativement très peu importante : environ 0,1 % du cheptel) est souvent réservée à la fabrication du saucisson, en mélange avec d'autres viandes. La viande de truies de réforme (donc d'animaux très lourds, 250 à 300 kg) est également principalement utilisée pour la fabrication du saucisson.

La castration semble provoquer une augmentation de la teneur en AGS des graisses (Lebret et Mourot, 1998). En effet, les animaux gras ont souvent une activité de synthèse des lipides accrue ce qui a pour conséquence d'augmenter le dépôt d'acide palmitique. Cet écart peut-être de 2 % entre un mâle castré et une femelle (Barton-Gade, 1987).

### **2.2.3. Environnement climatique**

L'adiposité est plus élevée chez des porcs élevés au froid que chez ceux maintenus en conditions de thermoneutralité, le tissu adipeux jouant un rôle isolant dans le premier cas (Le Dividich *et al.*, 1987). Les teneurs en lipides des tissus adipeux ne sont pas affectées par la température ambiante. En revanche, les graisses des animaux élevés au froid contiennent davantage d'AG insaturés, notamment d'ALA, sans doute afin de favoriser la fluidité membranaire (Fuller *et al.*, 1974). Ces études, qui ont été essentiellement faites dans un but de connaissance du métabolisme du porc élevé en milieu tropical, ont à présent une application concrète en métropole avec le développement de l'élevage du porc en plein air. Ceci concerne en premier lieu les porcs issus de l'agriculture biologique qui doivent avoir un accès au plein air. Ce type de production est actuellement quantitativement peu important et a donc peu d'incidence sur les quantités de viande consommée. Cependant, ces productions pourraient se développer comme c'est le cas en Allemagne. Il en va de même pour les productions label rouge qui tendent à augmenter, en particulier le label rouge fermier plein air. Ceci aurait donc une influence certaine sur la composition des lipides apportés par ces viandes.

### **2.2.4. Type génétique**

Le type génétique des porcs affecte principalement l'adiposité de la carcasse et la teneur en lipides des tissus adipeux et de la viande (Davey et Bereskin, 1978). En même temps que la diminution de la masse des tissus adipeux au cours des 50 dernières années, leur teneur en lipides, autrefois comprise entre 75 et 85 %, est à présent de 65 à 75 %. Il y a donc eu une réduction importante de la part des lipides dans la carcasse. Par contre, la teneur en lipides intramusculaires, actuellement de l'ordre de 2 à 5 % suivant le type génétique, semble avoir été peu affectée par cette sélection (Tribout *et al.*, 2004). Il convient toutefois de nuancer ce constat puisque l'on ne dispose pas de données chiffrées sur ce paramètre chez les animaux des années 1960.

La qualité de la viande de porc peut être influencée par l'utilisation de races locales (Labroue *et al.*, 2001) par rapport aux races améliorées, les proportions de leurs divers types de fibres musculaires diffèrent et leurs muscles renferment davantage de gras intramusculaire. Les porcs de races locales actuelles représentent une très faible proportion de la production. Ils sont souvent associés à une production régionale et à des produits de charcuterie ayant une forte image de marque. On peut citer le porc corse qui est destiné à l'élaboration d'une partie de la charcuterie corse, le porc basque utilisé pour une partie de la production de jambon de Bayonne, ou le porc gascon, le porc blanc de l'ouest et le porc créole. Les teneurs en lipides du tissu adipeux sous-cutané des porcs de certaines de ces races sont rapportées dans le tableau 56.

**Tableau 56 : Composition en AG (moyenne + écart-type) du tissu adipeux sous-cutané dorsal en fonction des races locales, exprimée en % des AG identifiés.**

Races	Basque <sup>1</sup>		Gascon <sup>1</sup>		Limousin <sup>1</sup>		Porc Blanc de l'Ouest <sup>1</sup>		Créole <sup>2</sup>	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
AG (% des AG identifiés)										
14:0	1,27	0,17	1,33	0,24	1,20	0,11	1,36	0,21	1,60	0,68
16:0	26,30	2,82	27,19	3,09	24,20	1,26	26,46	2,03	25,08	1,45
16:1	1,57	1,02	1,60	1,01	1,19	0,86	2,06	0,31	2,79	1,37
18:0	10,50	6,91	10,37	8,03	14,15	1,64	14,66	4,25	13,03	1,20
18:1	46,28	4,09	45,68	4,12	43,45	2,70	42,07	2,38	39,21	4,24
LA	11,42	1,59	11,11	2,19	12,47	3,06	10,01	1,68	14,30	1,80
ALA	0,23	0,37	0,23	0,36	0,59	0,48	0,80	0,24	0,87	0,50
20:0	0,10	0,16	0,10	0,16	0,21	0,16	0,31	0,08	0,35	0,21
20:1	1,46	0,27	1,48	0,43	1,34	0,39	1,25	0,24	0,46	0,36
20:2	0,46	0,43	0,36	0,34	0,80	0,27	0,58	0,15	0,69	0,35
20:3	0,14	0,14	0,17	0,34	0,11	0,08	0,08	0,04	0,25	0,08
20:4	0,28	0,20	0,39	0,41	0,27	0,21	0,34	0,06	0,28	0,08

<sup>1</sup>: d'après Labroue *et al.*, 2001 (les porcs de cette étude recevaient un aliment de même composition mais étaient élevés dans leur région respective ; âge et niveau d'alimentation différents); <sup>2</sup>: d'après Renaudeau et Mourot., 2007.

Même si ces animaux sont peu représentatifs, ils tendent à entrer de plus en plus dans de nouveaux schémas de sélection afin d'augmenter la teneur en lipides intramusculaires pour améliorer la flaveur de la viande (Fernandez *et al.*, 1999).

### 2.2.5. Taux et nature des matières grasses de l'aliment

Le taux et la nature des matières grasses alimentaires sont les facteurs qui influencent le plus les dépôts d'AG dans la viande chez le porc. En effet, comme chez les autres animaux monogastriques, il existe une relation directe entre les AG ingérés et les AG qui sont retrouvés dans les tissus gras, et à un moindre degré dans les tissus maigres (Flanzy *et al.*, 1970 ; Madsen *et al.*, 1992 ; Mourot et Hermier, 2001).

Des cahiers des charges limitent l'apport en LA dans les aliments des porcs. En effet, afin d'éviter des problèmes de gras mous et d'oxydation des AG qui entraînent des difficultés de transformation en charcuterie et de conservation des produits, il est recommandé que le LA ne dépasse pas 12 à 15 % des AG totaux dans les tissus adipeux (Wood *et al.*, 1986). Ceci correspond à une teneur maximale de 1,5 à 1,6 % de cet AG dans l'aliment. Toute la production porcine tient compte de cette contrainte.

Cependant, dans certaines régions, notamment le Sud Ouest, il est de tradition d'incorporer du maïs en grande quantité dans l'aliment du porc. Ceci entraîne souvent la présence de LA à un taux plus élevé que celui recommandé dans les cahiers des charges. L'utilisation de maïs humide à un niveau supérieur aux recommandations ne semble néanmoins pas induire de défauts de transformation de la viande (Albar *et al.*, 2006). Il faut toutefois noter que ces animaux étaient abattus à un poids plus élevé que le porc charcutier (150 kg au lieu de 110 kg) pour la transformation en jambon de Bayonne. Il semblerait que chez le porc lourd, la limite de 15 % de LA dans les tissus adipeux puisse être dépassée.

L'introduction de nombreuses sources de matières grasses dans les aliments du porc a été testée. L'utilisation de certaines d'entre elles restera limitée à l'expérimentation mais d'autres qui peuvent entrer dans des productions « label » particulières trouvent des

applications en élevage. C'est, par exemple, le cas du lait qui était donné autrefois dans l'aliment du porc à la ferme (soit sous forme de lait ou de lactosérum), pratique qui se perpétue dans des labels régionaux (Février et Mourot, 1989).

Le régime du porc à l'engrais abattu à 110 kg contient le plus souvent 2 à 4 % de lipides. Environ 1,5 à 2 % de lipides dans le régime sont apportés par les céréales (souvent de l'orge, du blé ou du maïs) et par les tourteaux qui sont fortement délipidés. Le reste est fourni par de l'huile ou des graines oléagineuses. Cette matière grasse ajoutée a un rôle technologique en favorisant la tenue des granulés et permet d'augmenter la teneur en énergie des régimes. En élevage standard, le choix des matières grasses dépend principalement de critères économiques ; actuellement, l'huile de palme est fortement utilisée en France.

Une synthèse de l'effet des principales matières grasses utilisées est rapportée dans le tableau 57.

Environ un tiers des porcs produits en France consomme des aliments fabriqués à la ferme. Les éleveurs introduisent alors les céréales et les graines d'oléagineux qu'ils produisent sur leur exploitation et complètent la ration avec un concentré protéique apportant également les minéraux et vitamines. Les graines entières sont introduites dans l'aliment après broyage. Celles qui apportent des lipides peuvent être le maïs ou le plus souvent le colza. La variabilité de la teneur en matière grasse et de la composition en AG des aliments est donc très importante à la fois en fonction des saisons et des élevages, un éleveur pouvant produire son aliment pendant une partie de l'année et distribuer un aliment du commerce le reste du temps. La valeur maximale de 1,6 % d'acide linoléique n'est alors pas toujours respectée à cause des variations de teneur et de composition en lipides des graines selon les parcelles de production, les variétés utilisées voire les modes de culture. Une étude récente (Albar *et al.*, 2006) montre une variabilité assez élevée de teneur en acide linoléique de la bardière suivant les variétés de maïs utilisées.

**Tableau 57 : Composition en AG de différents tissus gras ou maigres en fonction de la matière grasse utilisée dans l'aliment du porc.**

Lipides du régime	Lait <sup>1</sup>	Coprah <sup>2</sup>	Huile de maïs <sup>2</sup>	Suif <sup>3</sup>	Coprah <sup>2</sup>	Suif <sup>3</sup>
	Site	Tissu adipeux	Tissu adipeux	Tissu adipeux	Tissu adipeux	muscle
12:0		2,5	4,12	0,1		
14:0		3,92	9,2	1,2	1,4	0,95
16:0		29,15	29,3	20,16	22,4	24,95
16:1		4,42	4,4	2	2,1	3,74
18:0		13,02	13,01	8,7	12,9	13,63
18:1		40,04	31,2	34,1	45,7	44,34
LA		6,43	7,2	32	14	10,01
ALA		0,45	0,48	0,64	0,6	0,43
20:0		0,57	0,2	0,2	0,2	
ARA		0,41	0,5	0,85	0,7	1,79
<b>AGS</b>		49,16	55,83	30,36	36,9	39,53
<b>AGMI</b>		44,46	35,6	36,1	47,8	48,08
<b>AGPI</b>		7,29	8,18	33,49	15,3	12,23

(1) Février et Mourot, 1989 ; (2) Girard *et al.*, 1988 ; (3) Lebreton et Mourot, 1998.

### 2.2.6. Mode de production

Plusieurs études ont été réalisées en Allemagne sur des porcs issus de l'agriculture biologique.

En comparaison à un aliment conventionnel bien équilibré en acides aminés, la distribution d'un aliment, également bien équilibré et produit selon les standards de l'agriculture biologique (biologique 1 : féverole + protéines de pommes de terre) à des porcs en porcherie entre 31 et 92 kg de poids ne modifie ni la vitesse de croissance, ni la composition corporelle des animaux à l'abattage (Sundrum *et al.*, 2000 ; tableau 58). Par contre, lorsque les aliments biologiques sont carencés en lysine et en acides aminés soufrés (biologique 2 : pois + lupin ; biologique 3 : féverole + lupin), la croissance des porcs est plus lente, leur carcasse renferme moins de viande maigre et la teneur en lipides du muscle *longissimus* est plus élevée. Cet effet n'est donc pas dû au fait que l'aliment est issu de l'agriculture biologique mais au déséquilibre en acides aminés du régime.

Tableau 58 : Effets du régime sur les caractéristiques des carcasses de porc.

	Régimes équilibrés		Régimes déséquilibrés	
	Conventionnel	Biologique 1	Biologique 2	Biologique 3
Gain moyen quotidien, g	859 <sup>a</sup>	891 <sup>a</sup>	770 <sup>b</sup>	767 <sup>b</sup>
Poids à l'abattage, kg	93,1	92,1	91,2	91,7
Viande maigre FOM %	56,0 <sup>a</sup>	55,6 <sup>ab</sup>	54,3 <sup>bc</sup>	53,6 <sup>c</sup>
Surface noix côtelette, cm <sup>2</sup>	56,8 <sup>a</sup>	54,3 <sup>a</sup>	48,8 <sup>b</sup>	48,0 <sup>b</sup>
Epaisseur lard dorsal, cm	2,4	2,4	2,4	2,4
Gras intramusculaire, %	1,20 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	2,90 <sup>b</sup>	2,95 <sup>b</sup>

a, b, c  $P < 0,05$

Une enquête réalisée par Hansson *et al.* (2000) dans les abattoirs de Suède, qui portait sur 3,9 millions de porcs, révèle d'ailleurs une plus grande variation de la teneur en viande des carcasses de porcs biologiques que des conventionnels, même si les valeurs moyennes sont peu différentes (respectivement 59,5 et 60,1 %).

Dans une autre expérience (Fisher, 2001), la comparaison à un régime conventionnel avec des régimes biologiques, supplémentés ou non en fourrage (ensilage d'herbe ou maïs fourrager) ne montre aucune différence de composition corporelle entre les lots d'animaux. Cependant, comme dans le cas des ruminants, la teneur en ALA des lipides de la bardière des porcs biologiques ayant consommé de l'ensilage d'herbe ou de maïs est significativement augmentée de 0,35 point.

Enfin, l'introduction croissante (10, 20 ou 30 %) de maïs fourrager dans un aliment biologique à base de céréales, de pois et de protéines de pomme de terre consommé à volonté diminue le rendement de carcasse, l'état d'adiposité et la teneur en gras intramusculaire. Elle accroît la teneur en certains AGPI du gras sous-cutané : dans le cas de l'introduction de 30 % de maïs fourrager, le taux d'acide linoléique passe de 7,9 à 9 % et celui de l'acide alpha-linolénique de 0,7 à 0,9 % (Fisher, 2001). Mais les mêmes conséquences auraient sans doute été observées à la suite de la dilution de régimes conventionnels par des fourrages.

Les différences de composition de la carcasse et de teneur en AGPI des graisses observées entre porcs biologiques et porcs conventionnels s'expliquent donc par les écarts de composition des régimes (apport de protéines, équilibre des acides aminés, consommation éventuelle de fourrages,...) et non par l'origine biologique ou non des aliments consommés.

## 2.2.7. Perspectives en mode de production porcine

Afin d'améliorer la valorisation de leurs produits, certains éleveurs essaient actuellement de mieux répondre aux besoins nutritionnels de l'Homme dans le cadre de l'amélioration de la valeur santé des aliments. Compte tenu de la relation directe entre la composition en AG de la ration et celle des AG qui vont se déposer chez le porc, il paraît intéressant d'introduire dans l'aliment du porc des AG jugés favorables pour la santé humaine. C'est en particulier le cas des AG n-3 apportés, par exemple, par les graines de lin qui se retrouvent ensuite dans la viande. Cette production, qui est actuellement considérée comme une niche, se développe et pourrait à terme devenir non négligeable. Par contre, pour des raisons technologiques de transformation de la viande, l'huile de poisson, qui constitue une source potentielle intéressante d'AG n-3, n'est pas utilisée en alimentation du porc en France.

Dans le cas de l'utilisation de graines ou d'huile de lin dans l'alimentation du porc, les dépôts en AG n-3 dans la viande peuvent être très différents. En effet, la teneur en ALA de l'huile de lin peut varier de 10 à 40 % suivant l'origine de la graine (Rousseaux, 2005). Actuellement, l'incorporation de graines de lin extrudées permet d'obtenir un enrichissement intéressant en précurseurs C18:3 n-3 (par exemple, 5 fois plus qu'avec une huile de colza ou 10 fois plus qu'avec une huile de tournesol) (Wilfart *et al.*, 2004 ; Corino *et al.*, 2008) (tableaux 59 et 60).

**Tableau 59 : Effet de l'apport d'huile ou de graines lin sur les quantités d'AG déposés dans le muscle (en mg d'AG par 100 g de muscle *longissimus dorsi*).**

AG (mg/100 g de muscle)	Régimes				RSD
	Huile de coprah	Huile de tournesol	Huile de colza	Graine de lin extrudée	
12:0	1,3	1,0	1,1	1,2	0,4
14:0	14,6	14,7	15,1	16,7	6,1
16:0	255	323	334	371	133
18:0	136	170	179	197	68
20:0	2,7	3,6	3,6	4,0	1,3
<b>AGS</b>	410	512	533	591	210
14:1	0,8	1,1	1,1	1,0	0,3
16:1 9c	32,7	33,5	39,9	45,8	17,9
18:1 9c	404	508	563	641	250
20:1 11c	7,2	9,1	9,9	11,1	4,6
22:1 12c	1,7	1,7	2,0	3,0	1,5
24:1 15c	3,5	3,9	2,6	2,2	1,9
<b>cis AGMI</b>	450	557	619	705	268,0
LA	140 <sup>a</sup>	185 <sup>b</sup>	149 <sup>ab</sup>	175 <sup>ab</sup>	36,8
20:2 n-6	2,2	2,5	3,0	3,5	1,9
ARA	31,1	37,1	30,2	30,2	9,3
<b>AG n-6</b>	173 <sup>a</sup>	225 <sup>b</sup>	183 <sup>ab</sup>	209 <sup>ab</sup>	43,9
ALA	5,5 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	9,3 <sup>a</sup>	26,2 <sup>b</sup>	9,0
20:3 n-3	3,8	3,4	3,9	4,1	0,9
EPA	1,7 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	5,2 <sup>b</sup>	1,5
DPA	3,9 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	8,5 <sup>b</sup>	1,6
DHA	1,6 <sup>a</sup>	1,7 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>ab</sup>	2,4 <sup>b</sup>	0,7
<b>AG n-3</b>	16,5 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	23,1 <sup>a</sup>	46,5 <sup>b</sup>	7,9
<b>AGPI</b>	190 <sup>a</sup>	242 <sup>ab</sup>	206 <sup>ab</sup>	255 <sup>b</sup>	50,6

*n*=12 porcs par lots. Les valeurs d'une ligne affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (*P* > 0,05). RSD = residual standard deviation.

**Tableau 60 : Effet de la nature de l'huile ajoutée au régime sur la teneur en AG du tissu adipeux sous-cutané dorsal à 105 kg (en mg d'AG pour 100 g de tissu adipeux).**

	Régimes				RSD
	Huile de coprah	Huile de tournesol	Huile de colza	Graine de lin extrudée	
AG (mg/100 g de tissu adipeux)					
12:0	224 <sup>a</sup>	37 <sup>b</sup>	37 <sup>b</sup>	41 <sup>b</sup>	86
14:0	1349 <sup>a</sup>	745 <sup>b</sup>	728 <sup>b</sup>	708 <sup>b</sup>	287
16:0	16510	15374	15287	14696	1877
18:0	9711	9449	9281	8984	1214
20:0	184	183	185	175	29
<b>AGS</b>	27979	25788	25518	24604	3151
14:1	32	34	34	24	15
16:1 9c	1314	1241	1140	1193	235
18:1 9c	22836	22996	24450	22471	2839
20:1 11c	540	499	603	515	100
22:1 12c	124	89	93	70	88
24:1 15c	67	78	59	57	37
<b>cis AGMI</b>	24913	24937	26379	24331	2804
LA	8331 <sup>a</sup>	11018 <sup>b</sup>	8668 <sup>a</sup>	8705 <sup>a</sup>	1072
20:2 n-6	182 <sup>a</sup>	264 <sup>b</sup>	224 <sup>ab</sup>	216 <sup>ab</sup>	36
ARA	120	146	96	152	77
<b>AGPI n-6</b>	8633 <sup>a</sup>	11428 <sup>b</sup>	8988 <sup>a</sup>	9074 <sup>a</sup>	1085
ALA	505 <sup>a</sup>	519 <sup>a</sup>	728 <sup>b</sup>	2347 <sup>ab</sup>	800
20:3 n-3	57	55	59	65	19
EPA	4 <sup>a</sup>	11 <sup>a</sup>	17 <sup>ab</sup>	36 <sup>b</sup>	7
DPA	59 <sup>a</sup>	59 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>	111 <sup>b</sup>	24
EPA	4 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	23 <sup>b</sup>	6
<b>AGPI n-3</b>	628 <sup>a</sup>	650 <sup>a</sup>	888 <sup>b</sup>	2582 <sup>ab</sup>	176
<b>AGPI</b>	9261 <sup>a</sup>	12078 <sup>b</sup>	9876 <sup>a</sup>	11656 <sup>b</sup>	1233

*n=12 porcs par lot. Les valeurs d'une ligne non affectées d'une même lettre diffèrent significativement ( $P < 0,05$ ).*

*RSD = residual standard deviation.*

Les équations des droites de régression entre l'apport d'ALA (en g/kg d'aliment) et les teneurs (en mg/100 g) en ALA, en dérivés n-3 à longues chaînes des tissus et en certains autres AG sont rapportées dans le tableau 61. Elles ont été établies pour des apports de 0,5 à 8 g d'ALA/kg d'aliment. Ces teneurs correspondent aux pratiques actuelles d'élevage où des aliments apportent de 3 à 4 % de lipides. L'augmentation des apports d'ALA dans l'aliment provoque un accroissement de la teneur en AG de la famille n-3 et en AGPI dans tous les tissus. Seul, le DHA n'augmente pas de façon significative dans le tissu adipeux. La teneur totale en AGS augmente significativement dans le tissu musculaire mais pas dans le tissu adipeux. Il faut toutefois remarquer que l'accroissement des AGS dans le muscle est relativement faible, de l'ordre de 5 % (soit environ de 100 mg/100 g de muscle) et il n'est pas

systématiquement trouvé dans toutes les études. Quant à la teneur en AGMI, elle n'est modifiée dans aucun tissu.

**Tableau 61 : Régressions linéaires [AG déposé (mg/100 g de tissu) = a x ALA (g/kg d'aliment) + b] calculées à partir de 20 doses différentes d'ALA ingéré. Pour chaque dose, le lot était constitué de 10 à 16 porcs.**

	a	b	R <sup>2</sup>	P
<b>Muscle long dorsal</b>				
ALA	3,68***	2,8**	0,92	<0,0001
EPA	1,02***	0,92†	0,74	<0,0001
DPA	0,97***	3,59***	0,61	<0,0001
DHA	0,11**	1,43***	0,35	0,006
Lipides totaux	0,06†	1,64***	0,19	0,056
16:0	12,4*	260***	0,22	0,037
18:0	6,2*	133***	0,20	0,049
18:2 n-6	3,3	147***	0,08	NS
ARA	-0,18	30***	0,01	NS
AGS	19,1*	412***	0,22	0,039
AGMI	12,6	474***	0,08	NS
AGPI	9,1*	193***	0,27	0,019
Σ n-3	5,8***	8,7***	0,87	<0,0001
<b>Tissu adipeux</b>				
ALA	408***	201**	0,97	<0,0001
EPA	4,31***	13,80***	0,56	<0,0001
DPA	12,23***	43,95***	0,74	<0,0001
DHA	1,70*	16,2***	0,22	0,040
Lipides totaux	0,69	68,03***	0,10	NS
16:0	306	13616***	0,09	NS
18:0	318†	7843***	0,16	0,084
LA	-212	8546***	0,13	NS
ARA	43**	97*	0,43	0,002
AGS	619	22413***	0,11	NS
AGMI	241	23940***	0,06	NS
AGPI	250†	9361***	0,18	0,060
Σ n-3	426***	275***	0,96	<0,0001

Dans les produits après transformation en charcuterie ou après cuisson, les AG n-3 ne sont pas altérés. En raison de la perte en eau au cours de la cuisson ou du séchage, la teneur en AG n-3 peut se trouver augmentée de 20 à 25 % du fait de l'augmentation du taux de lipides dans ces produits (Guillevic *et al.*, 2007).

Des essais sur les effets de l'incorporation de CLA dans l'alimentation des porcs ont également été réalisés (Bee, 2001 ; Corino *et al.*, 2003 et 2006). Comme pour les autres AG, il en résulte une augmentation de leur dépôt dans la viande : les droites de régression qui relient les dépôts de CLA dans le muscle long dorsal et le tissu adipeux (mg/100 g de tissu) à la quantité de CLA ingérés (g/kg d'aliment) sont présentées dans le tableau 62. Ces droites passent par l'origine, la constante ne différant pas significativement de 0.

**Tableau 62 : Régressions linéaires [CLA déposé (mg/100 g de tissu) = a x CLA ingéré (g/kg d'aliment)]  
calculées à partir de 21 doses différentes de CLA ingéré.**

	A	R <sup>2</sup>	P
Muscle long dorsal	0,043	0,84	<0,0001
Tissu adipeux	0,144	0,86	<0,0001

Mais l'introduction de CLA dans l'alimentation du porc ne semble plus être d'actualité. Contrairement aux ruminants, ils ne sont pas synthétisés chez le porc et ils doivent donc être intégralement apportés par l'alimentation pour qu'on en retrouve dans les tissus. Leur coût reste actuellement très élevé, ce qui réduit considérablement leur intérêt pour la production standard.

## **2.3. Viande de lapin**

### **2.3.1. Composition corporelle, teneur en lipides et composition en AG**

La viande consommable représente 80-85 % de la carcasse commerciale d'un lapin. Elle a une teneur moyenne en lipides qui varie de 8 à 13 % en fonction des différentes conditions de production telles que l'alimentation, le génotype ou le poids du lapin à l'abattage. Pour des conditions d'élevage similaires, à un âge donné (situation classique d'abattage), les lapins les plus lourds sont les plus gras. Les masses adipeuses visibles les plus importantes sont le gras scapulaire et surtout le gras abdominal. Un dégraissage manuel de la carcasse par enlèvement de ces deux masses adipeuses visibles, tel que cela est souvent pratiqué par la ménagère avant la cuisson, réduit par exemple la teneur moyenne en lipides d'une carcasse de 12,5 % à 10,7 % (Gigaud et Le Cren, 2006).

Les morceaux de découpe commerciale ont une teneur variable en lipides en fonction de leur position anatomique : les pattes avant et le râble (avant dégraissage manuel) sont les parties les plus grasses et les cuisses sont la partie la plus maigre (Ouhayoun et Delmas, 1989).

Comme pour les autres espèces de rente, la viande de lapin comprend de 0,5 à 1,0 g de phospholipides pour 100 grammes de tissu frais (Gondret, 1998). Les triglycérides de leur côté représentent en complément, environ 85 à 90 % des lipides de la viande. La composition moyenne en AG des lipides de la viande de lapin figure au tableau 63.

**Tableau 63 : Composition moyenne en AG de la viande de lapin recevant une alimentation classique, principalement à base de luzerne, son de blé, céréales (orge, blé), tourteaux de tournesol ou de soja (moyennes correspondant aux aliments de référence de 19 publications).**

AG	% des AG totaux	Plage de variation	mg/100 g de viande <sup>(1)</sup>
14:0	2,75	1,86-3,60	234
15:0	0,57	0,46-0,71	48
16:0	27,16	22,4-34,7	2309
17:0	0,61	0,50-1,05	52
18:0	7,12	5,81-9,73	605
20:0	0,25	0,06-0,75	21
22:0	0,08	0,01-0,12	7
AGS	38,5	35-47	3273
14:1	0,45	0,30-1,10	38
16:1	4,45	2,61-11,2	378
17:1	0,36	0,09-0,50	31
18:1 9c	24,58	18,3-29,0	2089
20:1	0,28	0,08-0,54	24
AGMI	30,1	23-42	2559
LA	23,11	18,8-31,4	1964
ALA	3,31	1,56-5,91	281
20:2 n-9	0,40	0,20-1,12	34
20:3 n-6	0,52	0,10-2,51	44
ARA	2,71	0,10-6,71	230
EPA	0,35	0,01-1,30	30
DPA	0,53	0,02-1,36	45
DHA	0,45	0,01-1,15	38
AGPI	31,9	23-46	2712
AGPI-LC (ayant 20 carbones et +)	5,47	1,5-10,1	465

(1) valeur recalculée pour une carcasse moyenne contenant 10 % de lipides, sur la base des taux moyens d'AG

Il faut toutefois signaler que les analyses publiées par différents auteurs pour la teneur en DHA fournissent souvent des résultats très variables comme l'indique la figure 11. Ces différences de teneur en DHA sont en très grande partie dues aux différences entre les aliments expérimentaux utilisés (cf infra).

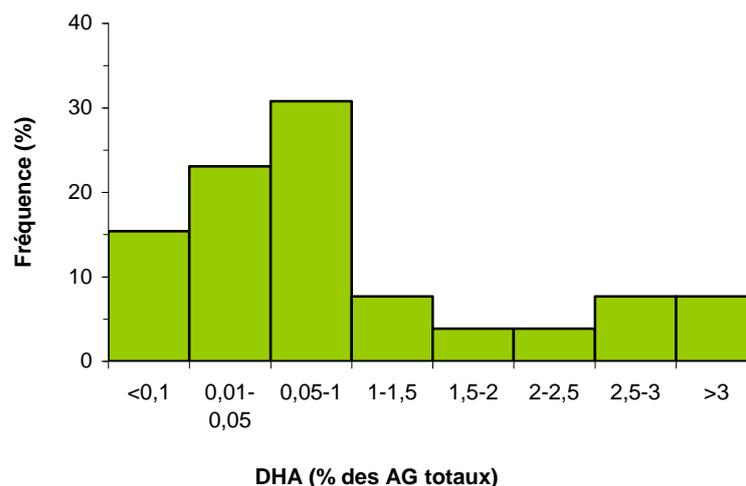


Figure 11 : Fréquence des teneurs en DHA de la viande de lapin publiées par différents auteurs (n=26) d'après Combes (2004).

### 2.3.2. Composition en AG des aliments et composition de la viande de lapin

Les stratégies alimentaires visant à modifier l'équilibre des AG dans les aliments destinés aux lapins passent soit par une modification des matières premières employées à taux de lipides constant, soit par un accroissement de la teneur en lipides de la ration par apport d'une ou plusieurs matières premières particulièrement riches en tel ou tel AG.

Dans les deux cas, si les équilibres nutritionnels de base de la ration sont correctement respectés (teneur et équilibre des protéines par rapport à l'énergie digestible, teneur et équilibre des fibres,...) les modifications de la composition en AG ne modifient ni les performances de croissance des lapins (vitesse de croissance, efficacité alimentaire), ni les caractéristiques à l'abattage (rendement à l'abattage, adiposité des carcasses) ; par contre, elles influencent fortement la composition en AG des lipides de la viande.

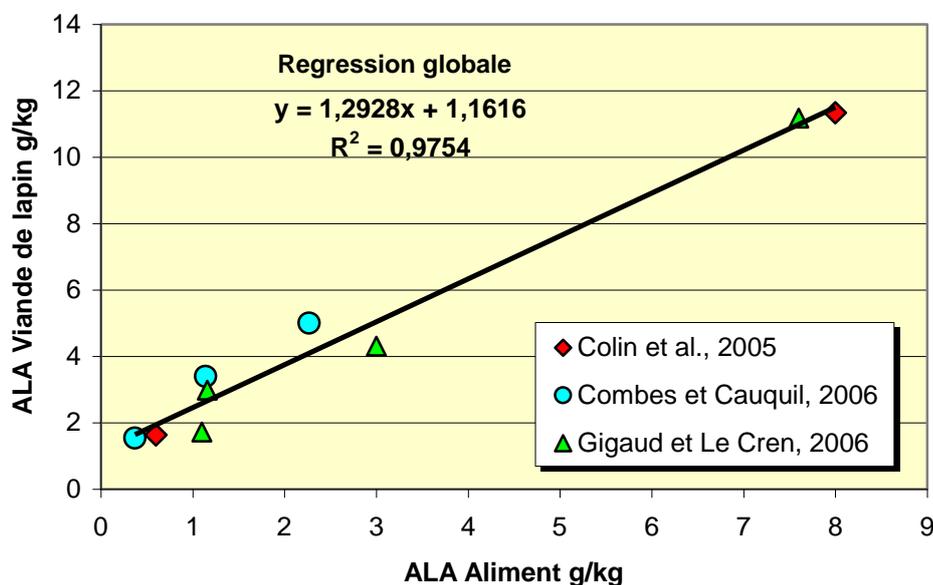
#### 2.3.2.1. Enrichissement en ALA

L'accroissement de la proportion d'ALA dans l'alimentation des lapins à teneur en lipides modérée et constante (2,5-3,0 % de lipides) peut être obtenue en augmentant la proportion des fourrages déshydratés comme la luzerne dont les lipides contiennent de 36 à 40 % d'ALA (Sauvant *et al.*, 2004). La proportion courante de luzerne dans les rations est de l'ordre de 15 à 20 % mais cette proportion peut sans aucune contre-indication être augmentée jusqu'à 55-60 %.

Si on veut utiliser un aliment plus riche en lipides, l'accroissement peut être obtenu par addition de matières premières riches en ALA comme l'huile ou la graine de lin, soit en substitution d'une source lipidique moins riche en ALA comme l'huile de soja, soit en addition simple à un régime pauvre en lipides. Toutefois, en raison des contraintes de la technologie des aliments pour lapins, la teneur finale en lipides de l'aliment ne doit pas dépasser 5-6 %.

La figure 12 illustre l'accroissement de la teneur en ALA dans la viande de lapin dans 3 essais récents, en fonction de la teneur en cet AG dans l'alimentation des lapins en croissance. Quelle que soit la source (luzerne ou graines de lin extrudées) ou la teneur en lipides de la ration [2,5 % constants dans l'essai "luzerne" de Combes et Cauquil (2006) ; 4,1 % constants dans l'essai "graine de lin" de Gigaud et Le Cren (2006) ; variant de 3 à 4,5 % dans l'essai "graine de lin" de Colin *et al.* (2005)], la teneur en ALA de la viande augmente en moyenne d'au moins 1,3 g/kg lorsque la teneur dans l'aliment augmente de 1,0 g/kg ( $R^2 = 0,98$ ). Dans ces 3 essais, les proportions maximales de matières premières riches en ALA (40 % de luzerne ou 6 % de graines de lin) sont très en deçà des proportions

maximales qu'il est possible d'utiliser. Ainsi, un apport minimum de 0,4 % d'ALA dans l'alimentation des lapins en croissance (la moitié de la valeur qu'il est possible d'atteindre avec seulement 5-6 % de graines de lin) permet d'obtenir une viande contenant plus de 0,6 % d'ALA.



D'après Combes et Cauquil, 2006 ; Gigaud et Le Cren, 2006 ; Colin et al., 2005.

**Figure 12 : Évolution de la teneur moyenne de la viande de lapin en ALA en fonction de la teneur en cet AG dans l'alimentation des lapins en engraissement.**

Cet accroissement de la teneur en ALA et plus globalement en AG n-3, se fait principalement au détriment des teneurs en LA et en 18:1 9c. Dans certains cas, cette variation est accompagnée d'un léger accroissement de la teneur en AGS. Ainsi, il y a augmentation par exemple de 39,8 à 42,5 % des AG totaux quand le taux de luzerne passe de 0 à 40 % dans la ration (entraînant un accroissement du taux d'ALA passant de 2 à 12 % des AG totaux) mais aussi un accroissement du taux d'AGS qui passe de 21 à 25 % des AG totaux). Néanmoins, dans la majorité des essais, la proportion d'AGS est inchangée ou significativement réduite lors de l'accroissement du taux d'ALA dans l'aliment sans relation avec la source d'ALA expérimentée (Lebas *et al.*, 1988 ; Castellini *et al.*, 1999 ; Colin *et al.*, 2005 ; Gigaud et le Cren, 2006). Du fait des modifications des équilibres entre AG, le rapport LA/ALA de la viande passe de 18,8 à 4,6 quand la teneur en luzerne passe de 0 à 40 %, ou de 14 en moyenne à 2,2 en moyenne quand la teneur en ALA passe de 0,1 % à 0,76-0,80 % de l'aliment par un apport de graines de lin.

### 2.3.2.2. Enrichissement en DHA et EPA

Castellini *et al.* (1999) ont montré qu'en incorporant 38 % de luzerne dans une ration simplifiée (luzerne + tourteau de soja + issues de céréales), la teneur en DHA passe de 0,04 à 0,55 % des AG totaux dans les lipides intra-musculaires. Pour l'EPA, la variation a été de traces d'EPA avec l'aliment témoin à 0,03 % des AG totaux. Dans l'essai de Combes et Cauquil (2006) où le taux de luzerne déshydratée a varié dans les mêmes proportions (0 - 20 - 40 %), l'accroissement du taux de DHA n'a pas été significatif tandis que la proportion d'EPA passait de 0,01 à 0,13 % des AG totaux.

Enfin, en remplaçant 8 % de graines de tournesol par 8 % de graines de lin, Dal Bosco *et al.* (2004) ont fait passer la teneur en DHA de la viande de lapin de 0,56 à 0,98 % des AG totaux et celle en EPA de 0,20 à 0,40 %.

L'augmentation des teneurs en DHA ou en EPA dans la viande des lapins en réponse à des modifications de la ration n'impliquant aucun apport supplémentaire en ces AG dans l'aliment est en grande partie la conséquence des synthèses effectuées par la flore digestive et de la récupération d'une partie des produits de la fermentation (corps bactériens principalement) par la caecotrophie. En effet, Castellini *et al.* (2002) ont montré que les teneurs en AGPI-LC sont réduites dans la viande de lapins auxquels l'ingestion des caecotrophes est interdite. Ceci est en grande partie expliqué par la forte proportion de phospholipides provenant des membranes cellulaires des bactéries. Rappelons à ce propos que les corps bactériens contenus dans les caecotrophes représentant plus de 50 % de la masse de ceux-ci. On peut aussi remarquer que l'ingestion des caecotrophes (lapins en bonne santé) permet de réduire la proportion d'AGS dans la viande.

### **2.3.2.3. Durée des effets alimentaires**

Les lipides des tissus adipeux comme les lipides intramusculaires ont un "turn over" relativement rapide (Gondret, 1998). De ce fait, les changements dans la composition lipidique de l'alimentation ont rapidement des répercussions sur la composition des lipides corporels du lapin. Ainsi, Gigaud et Le Cren (2006) ont obtenu une composition des lipides comparable chez des lapins sacrifiés à l'âge de 71 jours qui recevaient un régime riche en 18:3 (0,8 %) depuis le sevrage à 35 jours ou seulement depuis l'âge de 50 jours.

De manière similaire, la composition moyenne des lipides de la viande des lapins a été fortement modifiée par l'inversion de régimes riches ou pauvres en AGS au cours des 4 premières puis des 4 dernières semaines d'un engraissement de 8 semaines (Szabó *et al.*, 2004). Toutefois, on doit remarquer qu'au cours des 4 dernières semaines, le profil des AG a été plus fortement modifié lors du passage d'un aliment pauvre en AGS vers un aliment riche que pour la modification inverse. Comme attendu les proportions d'AGS (14:0 et 16:0) et AGMI (18:19c) ont augmenté dans les lipides corporels tandis que celle du LA a diminué en réponse au fort taux de saturation. Par contre, en raison de la modification probable de l'activité de la flore digestive (caecale plus spécifiquement), la proportion de l'ALA a augmenté (de 2,64 % à 3,97 % des AG totaux) avec l'accroissement du degré de saturation (4 % d'huile de tournesol partiellement hydrogénée mise en remplacement de 4 % d'huile de tournesol standard) alors que la teneur en ALA de l'aliment restait constante. Pour le changement inverse d'aliment (AGS puis AG insaturés), la teneur en ALA est restée stable aux environs de 3 % des AG totaux.

## **2.4. Viande de volailles**

### **2.4.1. Composition corporelle, teneur en lipides et composition en AG**

La teneur en lipides de la carcasse entière des volailles au poids d'abattage varie largement en fonction de la souche, du sexe, des aliments ingérés et des conduites alimentaires. La dinde est l'animal dont la carcasse est la plus maigre : les lipides ne représentent que 7,1 % de lipides du poids vif chez le mâle à 16 semaines et près de 10 % chez la femelle âgée de 12 semaines, soit pour les deux sexes une masse adipeuse corporelle d'environ 1 kg. La teneur en lipides corporels du poulet standard abattu à 35-42 jours est plus élevée et atteint 15,5 et 18,9 % chez le mâle et la femelle, respectivement, soit environ 400 g de lipides. Le canard à rôti dit « maigre » renferme un peu plus de lipides que le poulet : 18 et 20 % (Larbier et Leclercq, 1992) ce qui représente environ 1 kg de lipides corporels.

Ces lipides ne sont pas répartis uniformément dans la carcasse ; une partie non négligeable se trouve dans la cavité abdominale (gras abdominal et gras de viscères) et en

périphérie de la carcasse (gras sous-cutané). Le gras abdominal représente jusqu'à 4 % du poids vif chez les animaux modernes ; il renferme environ 88 % de lipides. Une carcasse PAC (prête à cuire) est débarrassée à l'abattoir de ce gras abdominal ainsi que des viscères (intestin, cœur, poumons,...), elle est donc moins riche en lipides mais les données précises ne sont pas disponibles.

La quantité de lipides varie également selon les tissus. Les muscles pectoraux blancs ou filets de poulet sont plus maigres (0,9 %) que les muscles rouges de la cuisse (2,8 %) et la peau est nettement plus grasse : environ 27 % (Ratnayake *et al.*, 1989 ; Leskanich et Noble, 1997). Des valeurs similaires ont été observées sur des animaux d'âge et de souches différents (Rabot *et al.*, 1999). Alors que le filet est proposé aux consommateurs majoritairement sans la peau et apporte donc peu de lipides, les cuisses sont commercialisées entières avec la peau. La peau et le gras sous-cutané représentent environ 8 % et 1,9 % du poids de la cuisse respectivement, les muscles ne représentent que 67 % du poids de la cuisse. Chez la dinde, les muscles de la cuisse sont également plus riches en lipides que le filet. Chez le canard, ces deux masses musculaires ont des teneurs similaires en lipides (2 %). Tous ces chiffres sont à relativiser car liés à de nombreux facteurs de variation déjà évoqués mais aussi aux modes de préparations culinaires employés.

La composition en AG des tissus de poulets mâles et femelles recevant un régime standard figure au tableau 64 (Ratnayake *et al.*, 1989).

**Tableau 64 : Teneur en lipides et composition en lipides et en AG de différents tissus chez des poulets [femelles (chiffre de gauche) et mâles (chiffre de droite)] recevant un régime standard et abattus à 42 jours (Ratnayake *et al.*, 1989).**

	Tissu consommable		
	Filet (muscle blanc)	Cuisse (muscle rouge)	Peau
Lipides (% du tissu frais)	0,9/0,9	3,2/2,3	26,9/26,9
Triglycérides (% des lipides)	43/35	83/76	100/100
Phospholipides (% des lipides)	55/62	16/23	Traces
<b>AG (% des AG totaux)</b>			
16:0	21,9/23,8	22,0/22,6	23,2/24,0
18:0	7,0/7,5	6,3/7,6	5,1/5,1
16:1	4,6/4,5	7,3/6,3	8,1/7,8
18:1 (totaux)	28,9/29,1	36,1/32,0	39,5/39,4
20:1 (totaux)	0,6/0,5	0,6/0,5	0,5/0,6
22:1 (totaux)	0,5/0,4	0,2/0,6	0,4/0,4
LA	17,0/17,8	18,9/18,3	18,1/18,2
ARA	4,0/5,0	2,5/3,7	0,5/0,6
ALA	0,6/0,5	0,9/0,7	0,9/1,0
EPA	0,8/0,7	0,3/0,6	0,3/0,4
DPA	1,7/0,9	0,4/0,5	0,2/0,1
DHA	3,2/1,8	0,6/1,0	0,1/0,1
Total AGPI-LC	9,7/8,4	3,8/5,8	1,1/1,2
Total AGPI-LC n-3	5,7/3,4	1,3/2,1	0,6/0,6
<b>AG (mg/100 g de tissu)</b>			
ALA	4,2/3,1	23,6/13,3	218/242
Total AGPI-LC	67/52	103/109	266/291
DHA	22/11	16/19	24/24

Ces données montrent que 100 g de muscle rouge contenant 2 fois plus de matières grasses que le muscle blanc, apportent 5 fois plus d'ALA, 2 fois plus d'AGPI-LC et des quantités équivalentes de DHA. La peau (30 % de lipides environ) apporte des quantités importantes d'ALA mais très peu de DHA. Cependant, sa consommation est toujours faible, voire nulle quand le morceau de découpe n'en contient pas ou quand elle est écartée dans l'assiette.

#### **2.4.2. Modulation de la composition en AGPI : stratégies alimentaires**

La composition en AG de la viande de volaille est susceptible de varier en fonction de paramètres intrinsèques (sexe, souche, âge) et extrinsèques (mode d'élevage, aliment, conduite alimentaire). En pratique, les seules études récentes publiées concernent l'effet de l'aliment, dans le contexte d'un enrichissement en AG n-3 et en CLA des produits destinés à la consommation humaine.

##### **2.4.2.1. Influence sur les performances zootechniques**

###### **2.4.2.1.1. Poulet**

La bibliographie rapportant les effets d'une supplémentation en AG n-3 des régimes pour poulet de chair en vue de modifier la composition en AG des produits destinés à la consommation humaine est relativement abondante (environ 40 références). En revanche, parmi ces études, peu nombreuses sont celles qui détaillent les effets de ces régimes sur les performances zootechniques des poulets, en termes de croissance ou de composition corporelle. Ces études ne précisent pas non plus toujours si les incorporations de lipides sont faites en maintenant constants la valeur énergétique de la ration et les ratios énergie/protéines. Or, ces éléments sont à prendre en considération car ils influencent la quantité de lipides déposés par l'animal et donc consommés *in fine*.

Dans les études publiées, les teneurs en MG des régimes varient de 6 à 10 % pour les aliments dits de "croissance". Les âges d'abattage vont de 35 à 56 jours et des durées de distribution des aliments expérimentaux varient de 21 à 44 jours. Globalement, le remplacement des MG animales riches en AGS par des huiles riches en AGPI conduit à des effets mineurs (même quand ils sont significatifs) sur le poids à l'abattage et la composition corporelle (tableau 65).

La bibliographie ne signale aucun effet sur le poids relatif (ou rendement) des morceaux de découpe (filet, cuisse, aile) à l'exception de l'étude de López-Ferrer *et al* (1999 a) qui indique une baisse de 5,7 % du poids relatif de l'aile et de celle de Krasicka *et al* (2000) qui note une augmentation de 11,2 % du poids relatif de la cuisse.

Quand la supplémentation en AG n-3 est réalisée non plus sous forme d'huiles mais sous forme de graines, la croissance est généralement affectée avec un poids à l'abattage significativement réduit : il peut s'agir de graines de lin à hauteur de 15 % (Ajuyah *et al.*, 1993) ou de graines de lin entières ou broyées à hauteur de 5 et 7,5 % (Roth-Maier *et al.*, 1998) (tableau 65). L'efficacité alimentaire, dans ces 2 études, est diminuée. Cette baisse de croissance est à relier sans doute plus à la présence de composés peu digestibles, voire antinutritionnels, et à un traitement technologique inadapté, qu'aux lipides contenus. Seuls, Krasicka *et al.* (2000) n'indiquent aucun effet sur la consommation, le poids à l'abattage et la composition corporelle de l'ajout de 8 % de graines de lin ou de colza, ou d'un mélange apportant 6 % de graines de lin et 6 % de graines de colza.

Les 3 études ayant étudié simultanément des mâles et des femelles ne signalent pas d'interactions entre le régime et le sexe sur les paramètres mesurés (Krasicka *et al.*, 2000 ; López-Ferrer *et al.*, 2001 a et b).

**Tableau 65 : Effet du remplacement d'une MG riche en AGS par une source de lipides riche en AGPI sur les performances et la composition corporelle du poulet (0 : pas d'effet ; + : augmentation ; - : diminution). Les chiffres représentent les pourcentages significatifs de variation par rapport à la MG de référence.**

MG de référence (%)	MG de substitution	Teneur dans l'aliment (%) <sup>a</sup>	Durée de consommation (j)	Age d'abattage (j)	PV <sup>b</sup> ou GP <sup>c</sup>	Efficacité alimentaire	Carcasse (% PV)	GA <sup>d</sup> (% PV)	Référence
Graisses animales <sup>e</sup> (7,05)	Huile poisson	1,25	26	45	NS	NS			Bou <i>et al.</i> , 2005
Suif (8)	Huile poisson	2	38	38	+ 6,4- 6,5	NS	NS	NS	López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001 b
Suif (8)	Huile poisson	4	38	38	+ 4,9-5,2	NS	NS	NS	López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001 b
Suif (5)	Huile poisson	5	36	54	- 4,0-4,1	- 1,6		NS	Scaife <i>et al.</i> , 1994
Suif (8)	Huile poisson	8	35	56	NS	NS		- 56,3	Newman <i>et al.</i> , 2002
Suif (9)	Huile poisson + Huile lin	8	44	44	NS		NS		Cortinas <i>et al.</i> , 2004
Suif (8)	Huile tournesol	8	35	56	NS	+ 9,6		- 62,8	Newman <i>et al.</i> , 2002
Suif (5)	Huile soja	5	36	54	NS	NS		NS	Scaife <i>et al.</i> , 1994
Saindoux (6)	Huile colza	3	39	39	- 3,6	NS			Skřivan <i>et al.</i> , 2000
Saindoux (6)	Huile colza	6	39	39	- 8,8	NS			Skřivan <i>et al.</i> , 2000
Suif (5)	Huile colza	5	36	54	NS	NS		NS	Scaife <i>et al.</i> , 1994
Graisses animales (7,05)	Huile lin	1,25	26	45	NS	NS			Bou <i>et al.</i> , 2005
Suif (6)	Huile lin	1,5 ; 3 et 4,5	21	21		NS			Olomu et Baracos, 1991
Suif (8)	Huile lin	2	38	38	NS	NS	NS	NS	López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001 a
Suif (8)	Huile lin	4	38	38	+ 9,2-9,6	NS	NS	NS	López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001 a
Huile poisson (8,2)	Huile colza	8,2	35	35	NS	NS	NS	+ 83,8	López-Ferrer <i>et al.</i> , 1999 b
Huile poisson (8,2)	Huile lin	8,2	35	35	NS	NS	NS	NS	López-Ferrer <i>et al.</i> , 1999 b
Graisses animales (8)	Graines de lin entières <sup>f</sup>	5	35	42	- <sup>h</sup>	- 4,1			Roth-Maier <i>et al.</i> , 1998

MG de référence (%)	MG de substitution	Teneur dans l'aliment (%) <sup>a</sup>	Durée de consommation (j)	Age d'abattage (j)	PV <sup>b</sup> ou GP <sup>c</sup>	Efficacité alimentaire	Carcasse (% PV)	GA <sup>d</sup> (% PV)	Référence
Graisses animales (8)	Graines de lin moulues <sup>f</sup>	5	35	42	- <sup>h</sup>	NS			Roth-Maier <i>et al.</i> , 1998
Graisses animales (8)	Graines de lin entières <sup>f</sup>	7,5	35	42	- <sup>h</sup>	- 10,0			Roth-Maier <i>et al.</i> , 1998
Graisses animales (8)	Graines de lin moulues <sup>f</sup>	7,5	35	42	- <sup>h</sup>	- 7,0			Roth-Maier <i>et al.</i> , 1998
Huile soja (2,5)	Graines de colza	8	39	49	NS	NS	NS	NS	Krasicka <i>et al.</i> , 2000
Huile soja (2,5)	Graines de lin <sup>g</sup>	8	39	49	NS	NS	NS	NS	Krasicka <i>et al.</i> , 2000
Huile soja (2,5)	Graines de lin + colza <sup>g</sup>	6 + 6	39	49	+ 14,8 <sup>i</sup>	NS	NS	NS	Krasicka <i>et al.</i> , 2000
Graisses animales (4)	Graines de lin <sup>f</sup>	15	34	42	- 15-17	- 31,8			Ajuyah <i>et al.</i> , 1993

<sup>a</sup>, pour les graines oléagineuses, la valeur est celle de leur taux d'incorporation dans l'aliment (et non le % de MG apporté par ces graines)

<sup>b</sup> PV, poids vif; <sup>c</sup> GP, gain de poids; <sup>d</sup> GA, gras abdominal; <sup>e</sup> Gr Anim, graisses animales

<sup>f</sup>, graines de lin substituées à plusieurs ingrédients, dont les MG, pour obtenir des régimes isoénergétiques, isolipidiques et isoprotéiques

<sup>g</sup>, graines de lin ou de colza substituées à plusieurs ingrédients, dont les MG, pour obtenir des régimes isoénergétiques et isoprotéiques, mais non isolipidiques

<sup>h</sup>, effet global significatif de la quantité de graines de lin

<sup>i</sup>, effet significatif chez les mâles seulement

#### **2.4.2.1.2. Autres espèces**

Chez la dinde, il existe très peu d'études mentionnant un effet de la nature des AG alimentaires sur les performances à l'âge ou au poids d'abattage standard, en terme de croissance, d'efficacité alimentaire ou de composition corporelle (Owings *et al*, 1980). Chez le canard, la bibliographie est également très réduite. Concernant spécifiquement les effets des AG sur les performances, le remplacement de l'huile de soja par de l'huile de poisson ne modifie pas le poids à l'abattage (à 63 jours), l'efficacité alimentaire, le pourcentage de filet et sa teneur en lipides chez des canes de Barbarie de 2 génotypes différents (Schiaivone *et al*, 2004).

#### **2.4.2.2. Teneur en MG des produits**

##### **2.4.2.2.1. Poulet**

Lors de suppléments en AGPI n-3 n'altérant pas la croissance (cas des huiles), la teneur en lipides totaux de la viande qu'elle soit blanche (filet) ou rouge (cuisse) n'est pas modifiée par la nature des AG alimentaires et se maintient à des valeurs inférieures à 1 % pour le filet et de l'ordre de 2,0-2,2 % pour la cuisse lorsque ces morceaux sont analysés sans la peau (Bou *et al*, 2005 ; Hulan *et al*, 1989 ; Komprda *et al*, 2005 ; Newman *et al*, 2002 ; Olomu et Baracos, 1991 ; Scaife *et al*, 1994). L'analyse de la cuisse avec sa peau (forme la plus souvent commercialisée) montre une réduction significative de la teneur en lipides de la viande (de 141 à 117 g d'AG par kg de viande, soit environ de 14 à 12 % de MG) quand la teneur en AGPI du régime (apportés par des proportions relatives variables d'huiles de lin et de poisson) passe de 15 à 61 g/kg d'aliment (Cortinas *et al*, 2004). Ces résultats seraient à valider dans d'autres situations d'apport en AGPI puisqu'un effet significatif sur le pourcentage de tissu adipeux abdominal n'a jamais été rapporté dans les études citées ci-dessus.

##### **2.4.2.2.2. Autres espèces**

Chez la dinde, la nature des AG alimentaires, apportés sous forme de MG riches en AGPI (d'huile de tournesol, de lin ou de poisson) à hauteur de 5-6 % du régime, n'influence pas la teneur en lipides de la viande, qu'elle soit blanche (filet : 0,7-0,8 %) ou rouge (cuisse : 2,3-3,0 %) (Komprda *et al*, 2005). Chez la cane de Barbarie, la teneur en MG du filet n'est pas non plus modifiée quand l'huile de soja est remplacée par de l'huile de poisson (Schiaivone *et al*, 2004).

#### **2.4.2.3. Composition en AG des produits**

Il existe une littérature abondante consacrée à l'effet des AG alimentaires sur la composition en AG de la viande de volailles (muscles et dépôts adipeux). Dans des études rapportées par Lessire (2001), l'effet de l'incorporation de doses croissantes de LA et d'ALA sur les teneurs de ces deux AG dans les dépôts lipidiques est quasiment maximal après deux semaines de régime et n'évolue ensuite que faiblement jusqu'à l'âge d'abattage (figures 13 et 14).

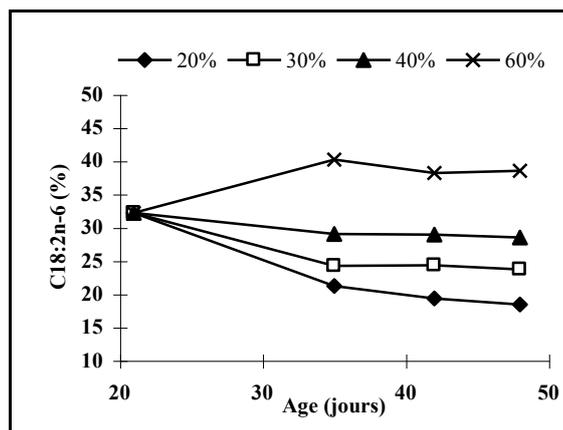


Figure 13 : Cinétique d'incorporation du LA dans les triglycérides des muscles de la cuisse de poulet en fonction de la teneur en LA des lipides alimentaires et de l'âge.

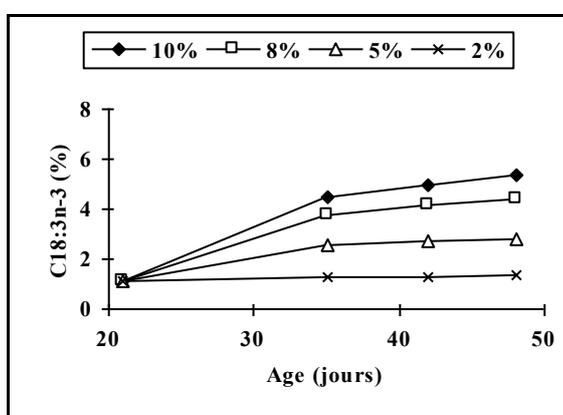


Figure 14 : Cinétique d'incorporation de l'ALA dans les triglycérides du *Pectoralis major* de poulet en fonction de la teneur en ALA des lipides alimentaires et de l'âge.

Dans ces études, les variations d'apports alimentaires en LA et ALA étaient indépendantes et effectuées par des mélanges de différentes sources lipidiques et les teneurs en lipides des aliments étaient maintenues constantes (8 %). Ces profils lipidiques de l'aliment n'ont pas modifié de façon notable les performances de croissance, confirmant ainsi les résultats évoqués plus haut.

Une recherche bibliographique approfondie n'a fourni aucune information sur les effets de la supplémentation en AG n-3 sur la composition en AG de la carcasse entière : seules sont décrites les compositions des parties consommables, avec ou sans peau, en général crues. Ceci étant, quand on achète une volaille entière, elle est quasiment toujours éviscérée, ce qui élimine le principal tissu adipeux des volailles, le gras abdominal. Ainsi, le principal tissu adipeux qui reste sur une volaille PAC ou sur des portions vendues isolément (filet, cuisse, aile) est le tissu adipeux sous-cutané associé à la peau.

La stratégie d'enrichissement des produits en AGPI n-3 fait appel à des sources riches en ALA et/ou en AGPI-LC. Avant de décrire successivement les effets de l'apport de ces différentes sources, il convient de rappeler quelques éléments de base :

- chez des poulets recevant un aliment classique dans lequel les MG sont maintenant uniquement des huiles végétales (soja, palme,...), les produits contiennent très peu d'AGPI n-3,
- l'ALA se retrouve sous forme de triglycérides, donc plutôt dans les tissus adipeux, et les AGPI-LC se retrouvent sous forme de phospholipides, donc plutôt dans les muscles,
- les oiseaux sont capables de transformer l'ALA en AGPI-LC,

- la viande rouge constituée de muscles principalement oxydatifs et donc riches en mitochondries (cas de la cuisse par exemple), est plus riche en phospholipides et donc en AGPI-LC que la viande blanche, constituée de muscles glycolytiques (cas du filet).

Cette section fait largement appel à la revue de Rymer et Givens (2005).

#### 2.4.2.3.1. Utilisation de MG riches en AGPI n-3

Cortinas *et al* (2004) ont étudié l'effet d'apports en AGPI variant de 15 à 61 g d'AGPI/kg d'aliment, en remplaçant le suif par des pourcentages croissants d'huile de lin et de poisson. A l'abattage (44 jours), les teneurs en AG n-3 exprimées en g pour 100 g de cuisse avec la peau (l'ensemble contenant 12 % de lipides) sont au maximum de 3,1 d'ALA, 3,5 d'AG n-3 totaux, 0,35 de AG n-3 LC et 0,11 de DHA. Les teneurs sont considérablement plus faibles dans le filet sans la peau : 0,41 g d'ALA/100 g, 0,53 d'AG n-3 totaux, 0,11 d'AG n-3 LC et 0,05 de DHA. Cependant, en % des AG totaux, les AG n-3 LC s'accumulent en plus grande quantité dans le filet sans la peau que dans l'ensemble cuisse + peau, ce qui est logique puisque l'ensemble cuisse + peau accumule surtout des triglycérides, donc de l'ALA.

Les auteurs de cette étude ont établi des régressions entre la quantité d'AGPI apportés par l'aliment (x, en g/kg d'aliment) et la teneur en AG du produit (y, en g/kg de produit) (tableau 66).

**Tableau 66 : Régressions entre la quantité d'AGPI apportés par l'aliment (x, en g/kg d'aliment) et la teneur en AG du produit (y, en g/kg de produit) (Cortinas *et al.*, 2004).**

	Cuisse + Peau		Filet sans peau	
<b>AGPI</b>	$y = 92,03 - 92,03 e^{(-0,0155x)}$	R <sup>2</sup> 0,75***	$y = 13,29 - 13,29 e^{(-0,0155x)}$	R <sup>2</sup> 0,48***
<b>AGMI</b>	$y = 89,34 - 0,92 x$	R <sup>2</sup> 0,70***	$y = 10,43 - 0,09 x$	R <sup>2</sup> 0,44***
<b>AGS</b>	$y = 53,81 - 0,43 x$	R <sup>2</sup> 0,57***	$y = 6,82 - 0,04 x$	R <sup>2</sup> 0,19***

*L'apport d'AGPI varie entre 15 et 61 g/kg d'aliment.*

Dans ces conditions, le taux d'incorporation des AGPI en réponse au régime le plus riche en AGPI (61 g/kg d'aliment) atteint 60 % du maximum de 92,0 g/kg dans la cuisse (avec peau) et 66 % du maximum de 13,3 g/kg dans le filet (sans peau). Le taux d'accrétion est d'environ 1,55 % dans les deux tissus. Il existe une relation inverse entre la proportion des AGPI dans les tissus considérés et celle des AGS et AGMI, avec un effet plus marqué sur les AGMI que sur les AGS. En effet, pour chaque augmentation de 1 g/kg d'AGPI dans le régime, la teneur en AGS diminue de 0,4 g/kg dans la cuisse (avec peau) et de 0,04 g/kg dans le filet (sans peau). Dans ces conditions, la teneur en AGMI diminue de 0,92 g/kg dans la cuisse (avec peau) et de 0,09 g/kg dans le filet (sans peau). Cet effet des AGPI alimentaires plus prononcé sur les AGMI que sur les AGS est une constante de la bibliographie chez le poulet (voir ci-dessous).

Dans ces conditions expérimentales (apports en AGPI variant de 15 à 61 g d'AGPI/kg d'aliment), les teneurs en AGS passent de 14,1 à 11,7 g/100 g dans la cuisse avec peau, et de 0,6 à 0,5 g/100 g dans le filet sans peau. Pour les AGMI, la teneur pour 100 g d'aliment passe de 7,6 à 3,4 g pour la cuisse avec peau et de 0,9 à 0,5 g pour le filet sans peau.

#### 2.4.2.3.2. Utilisation de MG riches en ALA

A partir des données bibliographiques, Rymer et Givens (2005) ont calculé les régressions entre l'apport alimentaire d'ALA et sa teneur dans les tissus consommés du poulet et de la dinde, pour des apports d'ALA représentant jusqu'à 5 % des régimes (tableau 67). Les ordonnées à l'origine des équations, qui fournissent la teneur en ALA de la

viande de poulet en l'absence de supplémentation en MG riche en ALA, sont de 18 et 8 mg pour 100 g de filet et de cuisse sans leur peau, respectivement. Ces valeurs sont compatibles avec celles relevées par Ratnayake *et al.* (1989) pour des poulets recevant un régime standard.

**Tableau 67 : Régressions (coefficient d'enrichissement et R<sup>2</sup>) entre l'apport alimentaire d'ALA et sa teneur dans les tissus consommés du poulet et de la dinde (Rymer et Givens, 2005).**

	ALA		
	Constante	Coef <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>
Poulet, muscle rouge avec peau (cuisse)	0,790	0,528	0,963***
Poulet, muscle blanc avec peau (filet)	0,777	0,343	0,995***
Dinde, muscle rouge sans peau (cuisse)	0,158	0,216	0,993***
Poulet, muscle rouge sans peau (cuisse)	0,079	0,104	0,772***
Dinde, muscle blanc sans peau (filet)	0,038	0,025	0,986***
Poulet, muscle blanc sans peau (filet)	0,189	0,015	0,309

<sup>a</sup>, coefficient d'enrichissement entre la quantité d'AG apportés par l'aliment (g/kg d'aliment) et la teneur en AGPI du produit (g/kg de tissu frais).

L'enrichissement est proportionnel à l'apport alimentaire mais sa valeur absolue dépend du tissu considéré : les tissus contenant la peau sont logiquement plus sensibles à l'apport alimentaire d'ALA (stocké préférentiellement dans les triglycérides), que ceux dépourvus de peau. Parmi ces derniers, le muscle rouge semble mieux répondre à l'apport d'ALA que le muscle blanc et la dinde serait plus sensible que le poulet. Cette observation d'une différence entre espèces serait à pondérer par un bien meilleur espacement des données sur la courbe de régression chez la dinde et ne saurait remplacer une étude systématique de la réponse du poulet et de la dinde à des apports équivalents d'ALA. Il ne semble pas y avoir d'effet du sexe sur la réponse à l'apport d'ALA, sans doute parce que les animaux sont abattus avant leur maturité sexuelle.

En revanche, il semble y avoir un effet de la forme d'apport de l'ALA. A teneur équivalente dans les régimes, l'huile de colza est aussi efficace que l'huile de lin mais les apports d'ALA peuvent être bien supérieurs avec l'huile de lin et conduire ainsi à des enrichissements plus importants. En revanche, à apport d'ALA équivalent, les graines de lin seraient moins efficaces que l'huile de lin, sans doute en raison d'une plus faible biodisponibilité de l'ALA dans la graine, même quand elle est broyée. Cependant, la comparaison à l'apport d'une même quantité d'ALA sous forme d'huile ou de graines diversement traitées (entières, broyées, extrudées) pourrait fournir des informations chiffrées qui ne sont pas disponibles actuellement.

Globalement, le remplacement d'une graisse animale (suif ou saindoux) riche en AGS par des huiles végétales riches en ALA diminue les proportions d'AGS et d'AGMI et augmente celle des AGPI n-6, que ce soit dans les muscles blancs ou dans les muscles rouges. La diminution des AGMI est généralement plus marquée que celle des AGS. Tout à fait logiquement, ces effets dépendent de la teneur alimentaire en MG riche en ALA. Ainsi, avec 1,25 % d'huile de lin, il existe très peu de modifications de la composition en AG d'un mélange de muscles blancs et rouges mixés avec leur peau, à l'exception bien sûr de l'enrichissement en ALA (Bou *et al.*, 2005). Le rapport LA/ALA devient  $\leq 5$  dès que l'apport en huile de lin atteint 1,5 % du régime (Cortinas *et al.*, 2004 ; López-Ferrer *et al.*, 1999 a,b et 2001a ; Olomu et Baracos, 1991). Un effet identique est obtenu à partir de 6 % d'huile de colza (López-Ferrer *et al.*, 1999 a,b ; Scaife *et al.*, 1994 ; Skřivan *et al.*, 2000). Le tableau 68 donne le détail de la composition en AG dans des conditions compatibles avec les pratiques d'élevage actuelles, à savoir un âge d'abattage d'au moins 39 jours, une durée de

distribution des matières grasses expérimentales d'au moins 35 jours et un apport de ces matières grasses variant entre 5 et 8 %.

L'utilisation de graines riches en ALA (lin, colza) à la place de graisses animales produit des effets similaires (tableau 69). Ces effets sur les AGS, AGMI et AGPI n-6 sont peu marqués jusqu'à 8 % de graines de lin ou de colza dans le régime (Krasicka *et al.*, 2000 ; Roth-Maier *et al.*, 1998) mais beaucoup plus prononcés avec 15 % de graines de lin (Ajuyah *et al.*, 1993).

**Tableau 68 : Composition en AG de la viande de poulet en fonction des matières grasses alimentaires.**

	Newman <i>et al.</i> , 2002 <sup>a</sup>		Scaife <i>et al.</i> , 1994 <sup>b</sup>			Skřivan <i>et al.</i> , 2000 <sup>b</sup>		López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001 a <sup>b</sup>		
	MG de référence	MG de substitution	MG de référence	MG de substitution		MG de référence	MG de substitution	MG de référence	MG de substitution	
	Suif (8%)	Huile de tournesol (8%)	Suif (5%)	Huile de soja (5%)	Huile de colza (5%)	Saindoux (6%)	Huile de colza (6%)	Suif (8%)	Huile de lin (2%)	Huile de lin (4%)
Tissu analysé	Filet		Filet			Filet		Cuisse		
14:0	0,82	ND	1,98	1,42	1,60	1,17	0,73*	0,77	0,70	0,69
16:0	23,36	15,91*	19,93	20,17	18,70	24,7	18,4*	33,82	31,45*	29,58*
18:0	9,25	10,41	9,84	10,09*	8,18*	6,58	5,15*	8,54	8,99	6,41*
24:0	1,22	1,66	ND	ND	ND	0,92	1,47*	ND	ND	ND
16:1 (totaux)	2,58	1,05*	3,12	1,20*	1,73*	4,79	2,01*	3,64	3,47	3,44
18:1 (totaux)	34,48	22,20*	28,49	19,05*	29,44	36,4	36,3	37,26	29,87*	26,93*
LA	14,84	31,29*	10,77	21,55*	14,85*	15,7	21,1*	11,66	15,32*	16,58*
ARA	5,99	8,51	2,15	5,61*	3,02*	2,40	2,32	0,63	0,37*	0,28*
ALA	ND	ND	0,82	1,30	1,75	1,72	5,67*	1,63	8,77*	13,93*
EPA	ND	ND	1,03	0,67	0,74	1,06	1,04	0,20	0,22	0,39*
DPA	ND	ND	1,24	1,68*	1,42	ND	ND	0,12	0,17*	0,24*
DHA	1,60	2,30	2,76	3,12*	2,66	2,02	2,36	0,10	0,17*	0,25*
AGS	34,7	27,9 <sup>c</sup>	31,79	31,71 <sup>c</sup>	28,52 <sup>c</sup>	33,4	25,5*	43,77	41,69*	35,53*
AGMI	37,9	24,5 <sup>c</sup>	31,97	20,54 <sup>c</sup>	31,67 <sup>c</sup>	41,7	39,8*	41,26	32,41*	30,18*
AGPI	22,43	42,1 <sup>c</sup>	18,98	34,62 <sup>c</sup>	24,78 <sup>c</sup>	23,6	33,2*	14,86	25,39*	32,12*
AGPI-LC	7,59	10,81 <sup>c</sup>	7,39	11,77 <sup>c</sup>	8,18 <sup>c</sup>	5,48	5,72 <sup>c</sup>	1,43	1,07 <sup>c</sup>	1,36 <sup>c</sup>
Total AGPI-LC n-3	1,60	2,30 <sup>c</sup>	5,03	5,47 <sup>c</sup>	4,82 <sup>c</sup>	3,08	3,40 <sup>c</sup>	0,42	0,56 <sup>c</sup>	0,88 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>, mol/100 mol d'AG; <sup>b</sup>, g/100 g d'AG; \*, significativement différent de la matière grasse de référence ( $P < 0.05$ ). <sup>c</sup>, pour ces valeurs, l'analyse statistique n'a pas été fournie par les auteurs. ND, non détecté.

**Tableau 69 : Composition en AG de la viande de poulet suite au remplacement de tout ou partie des matières grasses alimentaires par des graines oléagineuses.**

	Roth-Maier <i>et al.</i> , 1998 <sup>a</sup>						Krasicka <i>et al.</i> , 2001 <sup>b</sup>			
	MG de référence	MG de substitution		MG de référence	MG de substitution		MG de référence	MG de substitution		
	Graisse animale (8%)	Graines de lin moulues (5%)	Graines de lin moulues (7,5%)	Graisse animale (8%)	Graines de lin entières (5%)	Graines de lin entières (7,5%)	Huile de soja (2,5%)	Graines de colza (8%)	Graines de lin (8%)	Graines de colza et lin (6%+6%)
Tissu analysé	Cuisse						Filet			
14:0	2,0	1,7*	1,6*	2,1	1,8*	1,8*	0,66	0,51*	0,53	0,50*
16:0	25,8	23,4*	22,3*	25,8	25,3	25,6	22,62	22,24	19,82	21,00
18:0	8,3	8,1	8,5	8,4	8,1	8,2	9,92	8,72*	8,38*	8,33*
16:1	6,7	5,8	5,0	6,5	6,5	6,3	3,96	2,34*	3,00	2,98*
18:1	42,3	37,9*	35,1*	42,1	40,8	39,8*	36,66	33,27*	35,02	33,78*
LA	12,0	13,4*	14,5*	12,3	13,0*	13,4*	14,34	16,42	16,85	15,12
ARA	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,11	2,91	3,33	2,68
22:4 n-6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,79	1,50	0,89	1,76
ALA	1,6	7,9*	11,0*	1,5	2,7*	3,2*	1,38	3,68*	3,11*	4,00*
EPA	0,9	0,6*	0,6*	ND	0,2	0,3	0,59	1,78*	0,96*	0,84*
DPA	ND	0,3	0,5	ND	0,2	0,3	0,86	2,22	1,95	2,65*
DHA	ND	0,3	0,3	ND	0,2	0,2	0,69	1,27*	1,08*	1,20*
Total AGS	36,1	33,2*	32,3*	36,3	35,2	35,6	34,13	31,47	29,86	31,46
Total AGMI	49,0	43,6*	40,1*	48,5	47,3	46,1*	41,21	36,03*	38,47*	37,35*
Total AGPI	14,7	23,0*	27,4*	15,0	17,2*	18,1*	23,73	30,71*	29,55*	29,74*
Total AGPI-LC	1,2	1,6 <sup>c</sup>	1,8 <sup>c</sup>	1,2	1,4 <sup>c</sup>	1,5 <sup>c</sup>	8,01	10,61 <sup>c</sup>	9,59 <sup>c</sup>	10,62 <sup>c</sup>
Total AGPI-LC n-3	0,9	1,2 <sup>c</sup>	1,3 <sup>c</sup>	0,9	1,1 <sup>c</sup>	1,2 <sup>c</sup>	2,14	5,27 <sup>c</sup>	3,99 <sup>c</sup>	4,69 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>, mol/100 mol d'AG; <sup>b</sup>, g/100 g d'AG; \*, significativement différent de la matière grasse de référence au seuil de 5%. <sup>c</sup>, pour ces valeurs, l'analyse statistique n'a pas été fournie par les auteurs. ND, non détecté.

#### 2.4.2.3.3. Utilisation de MG riches en AGPI-LC n-3

Il existe moins de données concernant l'apport de sources d'EPA et de DHA (farines ou huiles de poisson, ou algues marines) sur la teneur des tissus en ces deux AG, en particulier parce que les AG n-3 sont souvent considérés comme un tout, sans distinguer l'EPA du DHA. Ces données ont un caractère essentiellement expérimental dans le cadre de la nutrition des volailles et leur application dans les pratiques d'élevage actuelles reste marginale pour des raisons de coûts des huiles de poisson (qui sont de ce fait réservées à l'alimentation des poissons) et de risque de détérioration de la qualité des carcasses, sans contrepartie en termes de plus-value (pas d'allégation nutritionnelle à ce jour). Du fait de ce faible nombre de données, il n'est pas possible de mettre en évidence d'éventuelles différences entre muscle blanc et muscle rouge et d'évaluer l'impact de la présence de peau. Rymer et Givens (2005) ont cependant calculé les courbes de régression suivantes entre l'EPA alimentaire (x, en g/kg d'aliment) et l'EPA tissulaire (y, en g/kg de produit frais) :

- viande à muscle blanc (filet) :  $y = 0,219 + 0,311 x$  ( $R^2$  0,67,  $P < 0,001$ ),

- viande à muscle rouge (cuisse) :  $y = 0,231 + 0,408 x$  ( $R^2$  0,45,  $P < 0,001$ ).

Ainsi, il existe une bonne proportionnalité entre l'apport alimentaire d'EPA et son accréation tissulaire. En revanche, ces mêmes auteurs signalent une très mauvaise corrélation entre l'apport d'ALA alimentaire et le dépôt d'EPA dans les muscles consommés, du fait que l'EPA serait stocké essentiellement dans le foie plutôt que dans les muscles.

Pour le DHA, les équations sont les suivantes :

- viande à muscle blanc (filet):  $y = 0,420 + 0,173 x$  ( $R^2$  0,158 NS)

- viande à muscle rouge (cuisse) :  $y = 0,442 + 0,109 x$  ( $R^2$  0,344,  $P < 0,05$ ).

Les constantes des équations qui fournissent la teneur en DHA de la viande de poulet en l'absence de supplémentation en AGPI-LC n-3, sont de 42-44 mg pour 100 g de viande. Ces valeurs sont compatibles avec celles relevées par Ratnayake *et al.* (1989) pour des poulets recevant un régime standard (22/11 et 16/19 mg/100 g de viande pour le filet et la cuisse, respectivement).

La relation entre DHA ingéré et DHA déposé dans les muscles est donc faible, voire inexistante chez les oiseaux. Comme pour l'EPA, il existe une très mauvaise corrélation entre l'apport d'ALA alimentaire et le dépôt de DHA dans les muscles consommés ; des apports élevés d'ALA tendraient même à diminuer le stockage musculaire du DHA.

Chez la dinde, la bibliographie fait essentiellement référence à l'ancienne mais très documentée étude de Neudorffer et Lea (1967) montrant une excellente linéarité entre les apports d'huile de poisson (0, 2,5 et 5 % du régime) pendant 10 semaines et les proportions d'EPA et de DHA dans les différentes classes de lipides et phospholipides du filet et de la cuisse.

L'utilisation d'huile de poisson à la place de graisses animales riches en AGS produit un appauvrissement du profil d'AG en AGS et en AGMI et un enrichissement en AGPI n-6 similaire à celui observé avec les huiles végétales riches en ALA mais plus limité. Là encore, l'effet-dose est important : il est très faible, voire non significatif avec 1,25 % d'huile de poisson (Bou *et al.*, 2005) et nettement plus marqué à partir de 2 % d'huile de poisson (López-Ferrer *et al.*, 2001 b ; Newman *et al.*, 2002 ; Scaife *et al.*, 1994). Le rapport LA/ALA reste toujours  $>5$  sauf dans l'étude de López-Ferrer *et al.* (2001 b) qui montre, avec 2 et 4 % d'huile de poisson, une augmentation inattendue de l'ALA (3 % des AG avec 4 % d'huile de poisson) et donc un rapport LA/ALA  $<5$  dès 2 % d'huile de poisson.

#### **2.4.2.4. Conséquences sur la qualité des produits**

Les risques associés à l'enrichissement des produits issus des volailles en AG n-3 sont liés à leur degré élevé d'insaturation. D'une part, cela peut modifier les propriétés physiques des produits frais (aspect huileux), ou lors de la conservation ou de la cuisson. D'autre part, cela peut conduire à une peroxydation lipidique accrue, responsable d'une détérioration des qualités sensorielles (Gonzalez-Esquerra et Leeson, 2000) et d'une toxicité potentielle.

##### **2.4.2.4.1. Peroxydation des produits frais et congelés**

La sensibilité des produits frais à la peroxydation lipidique, telle qu'elle est généralement évaluée à travers la mesure des TBARs, est élevée quand les AG n-3 sont apportés sous forme d'AGPI-LC issus du poisson, et proportionnelle à la quantité d'AGPI-LC n-3 présents dans l'aliment (Özpinar *et al.*, 2003). Elle est beaucoup plus limitée quand les AGPI sont sous forme de précurseurs à 18 C et ne montre pas de différence entre des sources riches en AGPI n-3 (huile de colza ou de lin) et des sources riches en AGPI n-6 (huile de soja ou de tournesol) (López-Ferrer *et al.*, 1999 b).

Chez le poulet, la congélation à - 20 °C n'empêche pas la peroxydation lipidique qui est, comme pour les produits frais, d'autant plus élevée que les MG alimentaires sont riches en AGPI n-3 (López-Ferrer *et al.*, 1999 b). De plus, la peroxydation lipidique augmente avec la durée de congélation (López-Ferrer *et al.*, 1999 b ; Bou *et al.*, 2005).

La peroxydation est significativement diminuée par l'apport de vitamine E, que la source d'AGPI soit végétale ou marine (López-Ferrer *et al.*, 1999 b ; Kang *et al.*, 2001). En pratique, il est extrêmement difficile d'obtenir une vision claire de l'effet de l'apport des antioxydants en général, et de la vitamine E en particulier, sur la peroxydation lipidique. En effet, les régimes pour volailles contiennent systématiquement de la vitamine E et des antioxydants de synthèse, et les huiles végétales contiennent des quantités parfois importantes de vitamine E qui ne sont pas souvent prises en compte dans les études.

#### **2.4.3. Enrichissement des viandes de volailles en CLA : stratégies alimentaires**

Un nombre assez conséquent d'essais a été réalisé dans le but d'étudier l'impact d'un apport alimentaire en CLA sur les performances de croissance et la composition des tissus des volailles. Toutes les études mentionnées ont été réalisées dans un cadre expérimental.

Des apports importants de CLA (5 % de l'aliment) réduisent le poids vif du poulet (Badinga *et al.*, 2003) mais d'une manière générale des niveaux plus faibles, jusqu'à 1-2 %, semblent affecter faiblement les performances (Du et Ahn, 2002 ; Simon *et al.*, 2000 ; Zhang *et al.*, 2005) même si des résultats contradictoires négatifs sont mentionnés (Szymczyk *et al.*, 2001) (figure 15).

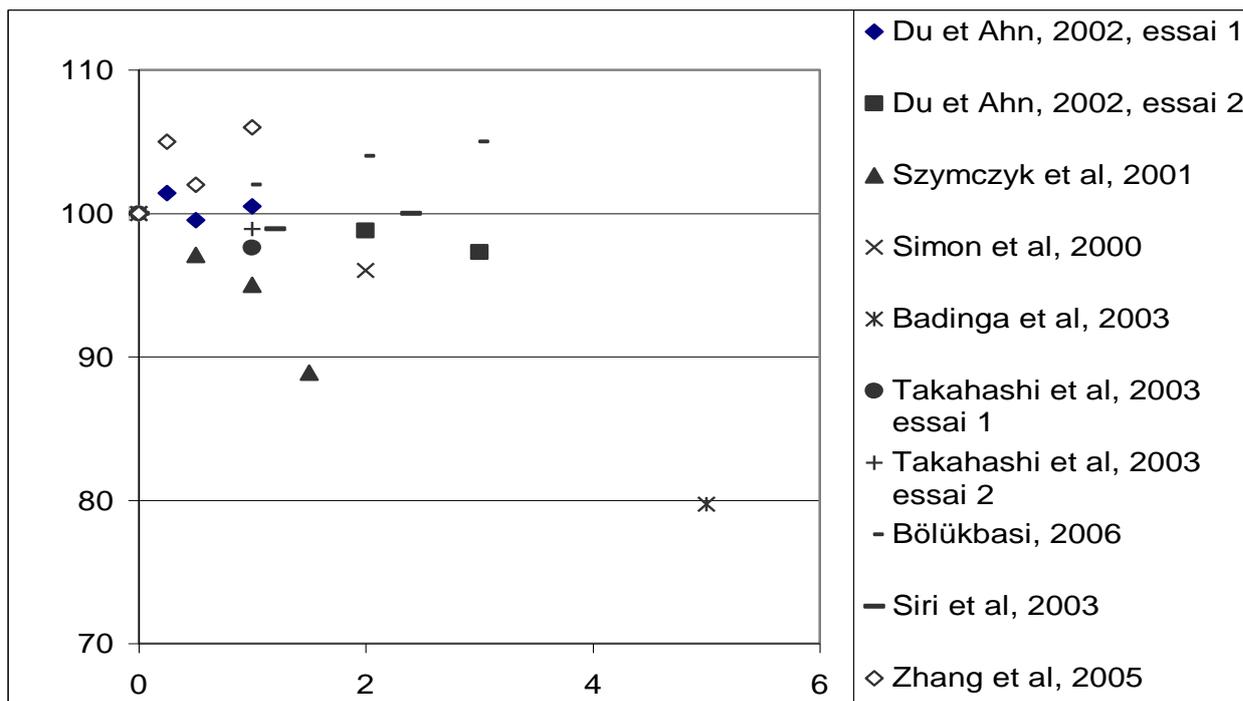


Figure 15 : Poids vif du poulet en fonction de l'apport alimentaire en CLA.

Des études récentes (Zhang *et al.*, 2005 ; Bülükbaşı, 2006) montrent à l'inverse une amélioration des performances avec un mélange industriel des 2 isomères 9*c*,11*t* et 10*t*,12*c* du 18:2 incorporé au maximum à 3 %. Ces effets contradictoires ne sont pas expliqués par le mode d'incorporation des CLA qui se fait toujours au détriment de la source lipidique de l'aliment témoin, en général de l'huile.

La masse adipeuse est généralement réduite pour des apports supérieurs à 2 %. Il en est de même des teneurs en lipides du filet et des muscles de la cuisse (Simon *et al.*, 2000).

La substitution de LA par les CLA modifie en profondeur le profil en AG des différents tissus : foie, filet, cuisse, cœur et graisse abdominale qui sont alors enrichis en AGS et appauvris en AGMI, les AGPI étant peu modifiés. Les CLA alimentaires sont incorporés proportionnellement à leurs apports (Du et Ahn, 2002) (figure 16). Le taux de transfert du 9*c*, 11*t* semble plus important que celui des autres isomères (Sirri *et al.*, 2003; Bülükbaşı, 2006).

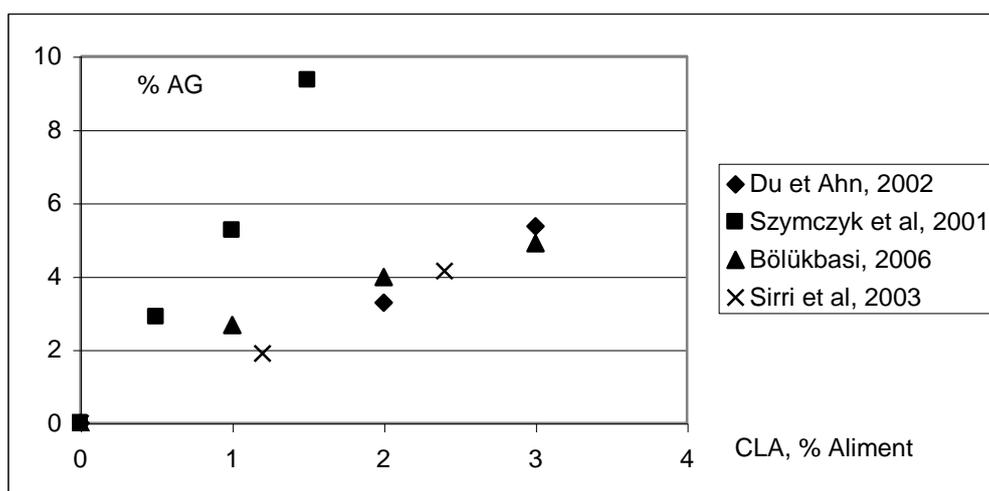


Figure 16 : Incorporation du 18:2 9c,11t dans le filet (% des AG totaux) en fonction de l'apport alimentaire en CLA.

Ces modifications de profil en AG des dépôts ont conduit quelques auteurs à étudier la stabilité oxydative des tissus. Ainsi, l'inclusion de CLA réduit les valeurs TBARS en frais ou après réfrigération (Du *et al.*, 2000 ; Bölükbaşı, 2006) ou congélation (Zanini *et al.*, 2006), les tissus sont moins sensibles à l'oxydation et la couleur de la viande reste également plus rouge lors du stockage (Du *et al.*, 2000).

## 2.5. Les œufs

Une synthèse sur la composition moyenne de l'œuf et la modulation d'origine alimentaire de son profil en AGPI a été récemment publiée (De Meester et Watson, 2008). Les principaux éléments en sont détaillés ci-dessous.

### 2.5.1. Généralités

Les lipides de l'œuf, quasi-exclusivement localisés dans le jaune, se répartissent en triglycérides (65 - 67 %), phospholipides (28,0 - 30 %) et cholestérol (4 - 5,2 %).

Seule une partie, moins de la moitié, des AG de l'œuf répond aux diverses pratiques visant à modifier leur composition. Les AGS et l'acide oléique représentent la fraction réfractaire à l'enrichissement. L'intérêt de la modulation de la composition en AG de l'œuf concerne donc essentiellement la modulation de sa teneur relative en AGPI. En termes de quantité, ces modulations concernent ainsi au maximum environ 1 g d'AGPI par œuf.

Si l'on fait abstraction de l'enrichissement de l'œuf en LA qui peut concerner un pourcentage important des AG, les modifications de teneurs des autres AG ne concernent que de faibles quantités d'AG pouvant, certes, correspondre à des enrichissements relatifs très importants. Ce point particulier qui focalise l'intérêt des modifications de composition sur des AG très peu représentés, soulève la question de la fiabilité et de la reproductibilité des analyses.

### 2.5.2. Aspects analytiques particuliers

Les lipides de l'œuf sont constitués pour deux tiers environ de lipides neutres (triglycérides) et d'un tiers de lipides polaires (phospholipides). Lors de la préparation d'un extrait lipidique total d'un ovo-produit, la nature polaire ou apolaire de ces lipides peut conduire à une extraction ou des pertes sélectives. Compte tenu que les phospholipides sont préférentiellement le véhicule des AG les plus polyinsaturés, des biais peuvent donc prendre

naissance suite à des extractions inadaptées. Il convient de signaler que le même type de biais peut résulter de réactions de méthylation conduites dans des conditions expérimentales non adaptées. De plus, la quantification par CPG des AGPI tels que ceux des huiles de poisson n'a pas encore été validée par l'AOCs qui émet donc des réserves.

Ainsi, pratiquement chaque laboratoire de recherche utilise sa (ses) propre(s) méthode(s) d'extraction et de méthylation. En France, la méthode d'extraction réglementaire est la méthode qui découle de l'arrêté du 14 novembre 1987 relatif aux méthodes officielles d'analyse des ovo-produits (NOR: ECOC8700122A). Elle est généralement suivie d'une analyse des AG après méthylation suivant les normes NF EN ISO 5509 et NF EN ISO 5508. Il convient de signaler également la méthode d'extraction selon la norme CEE-ONU concernant certains produits d'œufs de poule destinés à l'industrie alimentaire (Norme CEE-ONU). Ces méthodes n'ont pas été validées pour l'analyse des AG hautement polyinsaturés, de la famille n-3, qui nous intéressent particulièrement.

### 2.5.3. L'œuf « moyen »

#### 2.5.3.1. Aspects quantitatifs

Le poids moyen d'un œuf de poule est de 60 g avec une variabilité (2 écarts types) de 10 % environ, les extrêmes étant 35 à 70 g. Le jaune représente environ 29 % de la masse de l'œuf (17,4 g), les lipides du jaune : 34 % +/- 2 % de la masse du jaune soit 5,9 g environ et les AG, 83 % de la masse des lipides soit 4,9 g. Les lipides se partagent entre triglycérides pour 67 % soit 3,9 g ; phospholipides : 28 % soit 1,65 g et cholestérol : 300 mg environ. Les AG portés par les triglycérides représentent 3,7 g alors que ceux portés par les phospholipides représentent 1,2 g.

#### 2.5.3.2. Composition en AG

La variabilité de la composition en AG des lipides de l'œuf en réponse aux variations de l'alimentation et des conditions d'élevage fait qu'il est impossible de donner une composition moyenne précise en AG. Néanmoins, il existe quelques points forts qui apparaissent dans le tableau 70.

**Tableau 70 : Composition en AG (% poids/poids), des lipides totaux de l'œuf.**

AG Référence	AGS	AGMI	LA	ALA	ARA	DHA
Cotterill <i>et al.</i> , 1977	34	46	13	2,0	1	ND
Les cahiers de l'ENS.BANA, 1981	34	45	14	0,7	2	0,6
Huang <i>et al.</i> , 1990	36	43	18	0,1	2	ND
Oh <i>et al.</i> , 1991	38	51	7	1,0	1	tr
Lin <i>et al.</i> , 1991	39	46	13	0,3	2	0,5
Jiang <i>et al.</i> , 1991	35	49	12	0,9	2	1,5
Herber et Van Elswyk, 1996	34	45	18	0,1	2	ND
Stibilj <i>et al.</i> , 1999	32	47	15	0,5	3	1,3
Szymczyk et Pisulewski, 2003	32	46	12	1,5	2	0,7

ND : non documenté ; tr : traces

Ainsi, les AGS représentent environ un tiers des AG et les AGMI environ un AG sur deux. L'apport en LA d'un œuf moyen est de 0,65 g et en ALA de 0,07 g environ (Surai et Speake, 2008).

### **2.5.3.3. Répartition des AG par espèce lipidique**

Les AG de l'œuf ne se répartissent pas de façon identique entre les triglycérides et les phospholipides et cela aussi bien en terme de nature des AG déposés qu'en terme de régio-sélectivité sur le glycérol. Les triglycérides de l'œuf sont caractérisés par une localisation préférentielle du 16:0 en position *sn-1* du glycérol tandis que le 18:1 9c se partage de façon équivalente entre les positions *sn-2* et *sn-3* (Kuksis, 1992). Le LA et l'ALA occupent préférentiellement la position *sn-2* (Schreiner *et al.*, 2004). Les AGPI-LC sont localisés quasi exclusivement dans les phospholipides. Les phospholipides comportent une proportion plus élevée d'AGS (un AG sur deux environ) que les triglycérides (un AG sur trois environ). Dans les phosphatidylcholines, les AGS sont préférentiellement localisés en position *sn-1* (Kuksis, 1992) pour plus de 90 % (Schreiner *et al.*, 2004). Il en est de même pour les phosphatidyléthanolamines, ces dernières présentant une proportion plus importante en position *sn-1* du 18:0 par rapport au 16:0.

### **2.5.4. Modification de la composition en AG de l'œuf**

La composition en AG de l'œuf est conditionnée à la fois par la nature et l'état du cheptel, les conditions d'élevage et par l'alimentation des pondeuses.

#### **2.5.4.1. Les facteurs de modification non alimentaires**

##### **2.5.4.1.1. La souche et l'âge des pondeuses**

Il existe relativement peu d'études qui documentent les effets de la souche de pondeuse sur l'enrichissement en AG. Néanmoins, dans leur ensemble les différentes études concourent à accorder un faible rôle à la race de la poule pondeuse sur l'impact de la nutrition sur la composition en AG (Les cahiers de l'ENSBANA, 1981 ; Ahn *et al.*, 1995).

##### **2.5.4.1.2. La durée d'application du régime**

On peut considérer que les poules pondeuses répondent sous deux semaines à une modification de la composition en AG de leur aliment ; l'effet maximum étant atteint vers trois-quatre semaines.

#### **2.5.4.2. Les facteurs de modification alimentaires**

Compte tenu que seule la composition en AGPI de l'œuf peut présenter des variations relatives importantes, la quasi-totalité des études s'est focalisée sur ce point. D'une façon générale, l'enrichissement en AGPI se fait principalement en substitution de l'acide oléique et secondairement des acides en C16 (Thapon et Bourgeois, 1994).

##### **2.5.4.2.1. Les apports en AGPI n-6**

Les teneurs du jaune en LA peuvent être multipliées par 2 par simple apport d'huile de soja dans le régime. Le pourcentage maximum en LA qui peut être atteint dans les AG est voisin de 30-35 % (Thapon et Bourgeois, 1994), soit 1,6 g environ par œuf. Cet enrichissement ne s'accompagne pas d'un accroissement proportionnel du pourcentage en ARA qui demeure relativement constant.

##### **2.5.4.2.2. Les apports en AGPI n-3**

L'enrichissement de l'aliment pour poule pondeuse en AG n-3 peut être réalisé à partir de sources uniquement végétales (ALA) ou bien d'algues sélectionnées qui peuvent constituer

des sources riches en AG n-3 à 20 et 22 C, bien que les plus utilisées soient sélectionnées pour être une source unique de DHA. Par ailleurs, les huiles d'origine marine (poissons, mammifères marins, crustacés), qui apportent EPA et DHA principalement, constituent une autre source. En alimentation animale, les principales sources d'ALA sont le colza, le soja et le lin. Des résultats variables ont été observés suivant la forme d'apport : huile, graine, traitement des graines et bien sûr, niveau d'incorporation, valeur énergétique de l'aliment, durée d'application du régime.

L'apport d'ALA dans l'alimentation des poules pondeuses conduit à un enrichissement correspondant relativement proportionnel dans les AG des lipides totaux de l'œuf (Cherian, 2008). Les valeurs présentées sur le tableau 71 montrent que l'incorporation d'une source d'ALA dans l'alimentation des pondeuses permet d'accroître de façon relativement proportionnelle la teneur en ALA dans les lipides de l'œuf, jusqu'à 300-400 mg par œuf. En présence de 16 % de graines de lin dans l'aliment, on peut observer l'incorporation jusqu'à près de 450 mg d'ALA par œuf.

En ce qui concerne le DHA, les quantités accumulées plafonnent très rapidement en fonction des quantités d'ALA apportées par l'alimentation : le taux maximal obtenu ne dépasse pas généralement 2 % des AG des lipides totaux soit environ 100 mg par œuf. Les rapports DHA/EPA sont de l'ordre de 4 à 5 dans le cas du lin.

L'apport d'huile de poisson ou bien de poudre d'algues spécifiquement enrichies en DHA se traduit par un accroissement proportionnel du DHA dans les lipides totaux de l'œuf. Les quantités accumulées peuvent dépasser les 300 mg de DHA par œuf. Les rapports DHA/EPA peuvent atteindre des valeurs de 5 à 9 (Grüne *et al.*, 2001) ce qui, compte tenu que l'on n'observe une baisse de l'ALA et que les taux de DPA sont comparables à ceux de l'EPA, conduit à un enrichissement relativement spécifique en DHA parmi la famille des AG n-3.

#### **2.5.4.2.3. Répartition et régio-localisation des AG par espèce lipidique**

L'incorporation de l'ALA se fait très majoritairement au niveau des triglycérides alors que l'incorporation du DHA, du DPA et de l'EPA est essentiellement observée au niveau des phospholipides, couramment à plus de 80 % et tout particulièrement en position *sn*-2 des phospholipides, à plus de 90 %, DPA et EPA ont un comportement comparable, légèrement moins marqué (Schreiner *et al.*, 2004). L'enrichissement en DHA, DPA et EPA des différentes fractions phospholipidiques ne se fait pas de façon égale. Les phosphatidyléthanolamines présentent des teneurs 3 à 4 fois plus élevées en ces AG que les phosphatidylcholines.

#### **2.5.4.2.4. Les apports en CLA**

De même que la composition en AG de l'œuf est modifiée par une alimentation enrichie en LA, elle est susceptible de répondre à un apport en CLA. L'impact de l'incorporation de CLA à des niveaux allant de 0,001 % à 6 % dans l'aliment des poules pondeuses a été étudié. Il semblerait qu'un plateau d'incorporation des CLA dans les lipides de l'œuf existe pour des taux d'apport alimentaire autour de 5 % (Shang *et al.*, 2004). Le taux de transfert des CLA dans les lipides de l'œuf est bien plus faible que celui du LA. Par ailleurs, au sein des CLA, le taux de transfert du 18:2 9c,11t est plus élevé que celui du 18:2 10t,12c (Schäfer *et al.*, 2001 ; Raes *et al.*, 2002). Chamruspollert et Sell (1999) ont rapporté que l'accroissement en CLA dans les lipides de l'œuf reproduisait de façon linéaire les teneurs en CLA dans l'aliment. Des observations comparables ont été rapportées par d'autres (Ahn *et al.*, 1999 ; Cherian *et al.*, 2002 ; Szymczyk et Pisulewski, 2003) alors que les taux des CLA dans les lipides de l'œuf excèdent ceux des lipides de l'aliment pondeuse (Szymczyk et Pisulewski, 2003).

L'enrichissement de l'œuf en CLA s'accompagne d'un accroissement de la teneur en AGS au dépend de la teneur en AGMI. Les CLA auraient un effet inhibiteur sur la  $\Delta 9$  désaturase (Schäfer *et al.*, 2001). Les baisses de l'ensemble des teneurs en AGPI qui ont été rapportées par certains auteurs (Chamruspollert et Sell, 1999) n'ont pas été observées par d'autres (Raes *et al.*, 2002). D'une façon générale, l'enrichissement de l'œuf en CLA dépend à la fois de la teneur en CLA dans l'aliment et également de la teneur en matière grasse de l'aliment.

#### **2.5.4.2.5. Répartition des CLA et localisation par espèce lipidique**

A l'instar de l'incorporation du LA dans les lipides de l'œuf, les différents isomères de CLA ne présentent pas de fort tropisme particulier pour les lipides neutres ou polaires bien que les lipides neutres puissent présenter des concentrations plus élevées (Watkins *et al.*, 2003).

**Tableau 71 : Composition en AG (% poids/poids) des lipides totaux de l'œuf en réponse à différents apports en AG n-3.**

	Apports (poids/poids d'aliment)														
	Huiles							Graines						Algues	
	Soja	Lin	Menhaden**				Colza	Lin							
	10%	10%	1%	1,5%	2%	3%	10%	16%	5%	8%	10%	15%	16%	2,4%	4,8%
Référence	a	a	b	c	b	b	a	d	e	d	e	f	d	c	c
14:0	ND	ND	0,2	ND	0,5	0,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16:0	ND	ND	28	ND	24	27	ND	ND	21	ND	21	26	ND	ND	ND
18:0	ND	ND	9	ND	13	9	ND	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	ND
AGS	36	40	37,2	34	37,5	36,6	40	ND	ND	ND	ND	36	ND	36	36
16:1	ND	ND	ND	ND	0,9	1,0	ND	ND	ND	ND	ND	3	ND	ND	ND
18:1 9c	ND	ND	42	ND	40	36	ND	ND	44	ND	43	39	ND	ND	ND
AGMI	37	41	42	44	40,9	37	43	ND	44	ND	43	42	ND	43	42
LA	21	11	16	18	14	17	1,9	12	16	13	16	12	13	17	16
ARA	2,2	0,8	1,3	ND	1,3	0,9	0,7	1,3	ND	0,9	ND	1,3	0,8	ND	ND
ALA	1,3	4,8	0,2	ND	0,5	ND	0,3	2	3,2	6	4,9	6	9	ND	ND
EPA	ND	0,4	0,3	0,5	0,4	0,6	2,4	0,1	ND	0,1	ND	0,3	0,2	0,3	0,3
DPA	0,2	0,5	0,3	ND	0,4	0,5	1,8	0,2	ND	0,3	ND	0,3	0,3	ND	ND
DHA	1,7	2,0	2,8	3,5	4,2	3,9	7	1,5	2,5*	1,4	2,7*	2,7*	1,5	3,8	4,8

ND : non documenté

a : Lin et al., 1991 ; b : Huang et al., 1990 ; c : Herber et Van Elswyck, 1996 ; d : Cherian et al., 1996 ;

e : Yannakopoulos et al., 1999 ; f : Jiang et al., 1991.

\* Valeurs anormalement élevées par rapport à celles généralement rapportées pour ce type d'aliment.

\*\* Menhaden : *Brevoortia tyrannus*, forme d'aloise

### 2.5.5. Les apports en anti-oxydants

L'enrichissement en AGPI des lipides de l'œuf conduit à une susceptibilité accrue à l'oxydation. Dans le cas des œufs «coquille», les lipides ne sont pas facilement oxydés (Pike et Peng, 1985) même pendant le stockage (Marshall *et al.*, 1994 ; Cherian *et al.*, 1996). L'oxydation est facilitée quand les œufs subissent un traitement technologique que ce soit lors de la cuisson ou bien lors de traitements de déshydratation.

Les apports en vitamine E ont été les plus étudiés dans le but de protéger de l'oxydation les lipides de l'œuf enrichis en AGPI (Surai *et al.*, 2008). En ce qui concerne la protection des œufs «coquille», au cours de 4 semaines de stockage, des concentrations de 40 à 80 mg de vitamine E par kilogramme d'aliment sont suffisantes pour protéger des œufs enrichis en AG n-3 à partir d'un aliment contenant 1,5 % (p/p) d'huile de poisson (Grüne *et al.*, 2001).

# D Incidence des pratiques alimentaires en élevage sur la consommation des acides gras issus des denrées d'origine animale terrestre. Implications sur les apports nutritionnels de l'Homme

---

Le 1<sup>er</sup> chapitre de ce rapport a montré que le lait et les produits d'origine laitière constituent la part majoritaire de la consommation des lipides issus d'animaux d'origine terrestre, la viande et les produits dérivés une part plus faible mais qui reste importante. Les lipides issus du seul lait de vache et de ses produits dérivés représentent 95 % de l'ensemble des lipides d'origine laitière consommés. Les lipides issus des viandes porcine, bovine et de volaille et de leurs produits dérivés représentent quant à eux 89 % (soit respectivement 54 %, 23 % et 12 %) des apports de lipides issus des viandes. Ces lipides issus du lait de vache et des trois viandes citées représentent ensemble 92 % des lipides issus d'animaux d'origine terrestre consommés. Avec les lipides issus de l'œuf, ce sont 95 % des lipides consommés d'origine terrestre qui sont pris en compte. Ces 5 familles de denrées : lait de vache, viande porcine, viande bovine, viande de volaille (poulet) et œufs ont donc été retenues pour leur représentativité des lipides issus d'animaux d'origine terrestre consommés par l'Homme afin d'évaluer l'incidence des pratiques alimentaires d'élevage sur la consommation des AG issus des denrées d'origine animale terrestre et leurs implications sur les apports nutritionnels -couverture des ANC-.

Il se dégage des données du 1<sup>er</sup> chapitre que, pour agir favorablement sur les apports nutritionnels, eu égard aux ANC, et donc à terme sur le statut nutritionnel du consommateur, la consommation des AGS, en particulier 12:0, 14:0 et 16:0, ainsi que du LA doit diminuer, celle des AGPI n-3, en particulier ALA, EPA et DHA, doit augmenter ainsi que celle des AGMI *cis*. Si les AGMI *trans* naturellement présents dans les MG des ruminants (principalement le 18:1 11*t*) ne présentent pas d'effet néfaste aux niveaux d'apport par les aliments de consommation courante (Motard-Bélanger *et al.*, 2008 ; Malpuech-Brugère *et al.*, 2010 ; Brouwer *et al.*, 2010) et qu'il en est de même pour l'isomère 18:2 9*c*,11*t* du CLA [au moins jusqu'à la dose de 3 g/j (Risérius *et al.*, 2004)], il en est différemment pour le 18:2 10*t*,12*c*. Il a été conclu que les niveaux d'apport du 18:2 10*t*,12*c* ne devaient pas augmenter considérablement. Il est donc légitime de proposer ici que l'augmentation de la consommation de cet AG qui résulterait de pratiques alimentaires particulières ne dépasse pas un certain seuil. La dose d'apport la plus faible pour laquelle un effet néfaste du 18:2 10*t*,12*c* (augmentation du rapport cholestérol total/cholestérol HDL) ait été montré chez l'Homme, est de 600 mg/j pendant deux mois (Tricon *et al.*, 2004 ; Afssa, 2005 a). Ceci conduit à proposer, selon l'usage, une dose limite supérieure d'apport 10 fois plus faible, soit 60 mg/j, qui s'ajoute à la consommation basale moyenne de 20 mg/j.

## 1. Le lait et produits laitiers

Seuls les produits laitiers d'origine bovine ont été considérés dans la mesure où la consommation de MG laitière caprine ou ovine représente 1 g d'AG/jour en moyenne (cf. partie C- Produits). Les données concernant le profil en AGPI-LC du lait n'ont été étudiées que dans le cas de l'apport de graines d'oléo-protéagineux, du fait du peu d'informations concernant leurs variations liées aux autres pratiques alimentaires retenues.

### 1.1. Rappel du contexte

Pour simuler les conséquences de modifications des pratiques alimentaires chez les bovins sur la consommation en AG chez l'Homme, les consommations individuelles de

produits laitiers ont été tirées de l'enquête INCA 1 (Volatier, 2000 ; Razanamahefa et al., 2005) afin d'être en cohérence avec le rapport « Risques et bénéfices, pour la santé des acides gras *trans* apportés par les aliments. Recommandations » (Afssa, 2005 a). Dans ce cas, les consommations concernant les produits laitiers ont été identifiées à partir de leur dénomination dans l'enquête. Les aliments n'étant pas exclusivement d'origine laitière n'ont pas été inclus ce qui conduit à sous-estimer la consommation de MG laitières et donc à sous-estimer les effets induits par la modification des pratiques alimentaires en élevage. Seule, la valeur moyenne de la consommation pour chaque classe de population a été considérée (tableaux 3 et 4).

## 1.2. Rappel des pratiques alimentaires étudiées

La partie C sur la qualité des produits a identifié quatre groupes de pratiques alimentaires à étudier :

- Influence des systèmes fourragers.

La modification du système fourrager a été simulée par le changement des associations de fourrages des rations de base des ruminants, associé à la modification de la proportion d'un fourrage donné au sein d'un système donné. La simulation a plus particulièrement porté sur la réduction de la proportion de l'ensilage de maïs au profit de l'ensilage d'herbe (avec ou sans foin) ou du pâturage.

- Influence de la proportion d'aliments concentrés au sein des rations.
- Influence de l'apport d'oléo-protéagineux dans la ration.

L'apport d'oléo-protéagineux a été simulé principalement par l'étude d'apport de graines, les apports d'huiles ayant été considérés comme peu probables en élevage bovin du fait des contraintes pratiques qu'ils induisent, de l'utilisation concurrentielle de ces huiles en alimentation humaine ou en alimentation des animaux monogastriques, ou pour la production d'agro-carburants.

- Influence des mélanges d'isomères de CLA.

Certaines pratiques de terrain peuvent conduire à l'utilisation de CLA afin de gérer les quotas de MG ce qui peut induire des modifications fortes du profil en AG de la MG laitière.

L'influence de l'apport d'huiles d'origine marine n'a pas été étudiée dans la mesure où leur disponibilité commerciale est réduite et déjà insuffisante pour couvrir les besoins de l'aquaculture. De plus, l'enrichissement des produits laitiers en AGPI-LC et leurs dérivés formés lors des hydrogénations ruminales ou de phénomènes d'oxydation ultérieurs peut conférer aux produits laitiers des saveurs peu désirables.

## 1.3. Modification des systèmes fourragers et/ou des fourrages des rations

Deux cas ont été considérés séparément, les systèmes d'affouragements hivernaux (automne-hiver, majoritairement basés sur des fourrages conservés spécifiques des systèmes considérés) et ceux d'été (printemps-été, majoritairement basés sur le pâturage).

Au sein d'un système fourrager, la simulation a considéré les proportions des différents fourrages ce qui a permis de calculer un profil moyen en AG du lait issu de ce système fourrager à partir des données reliant le profil en AG du lait et la nature des fourrages. Le profil en AG d'un « lait de référence (REF) » a ensuite été calculé à partir de la part de ce système fourrager au sein de la collecte nationale de lait. Les hypothèses concernant la proportion des différents fourrages au sein d'un système fourrager donné et la part de ce système au sein de la collecte nationale ont été obtenues à partir des estimations fournies par l'Institut de l'Élevage montrant que les exploitations laitières bovines sont caractérisées par leur localisation en zones de plaine ou de piémont-montagne et par l'intensification de la

production fourragère reflétée par la proportion de surface de maïs ensilage dans la surface fourragère (Annexe 5).

La modification du système a ensuite été simulée par la combinaison a) d'un changement total de système fourrager pour 10 % des éleveurs des systèmes utilisant majoritairement l'ensilage de maïs en zone de plaine au profit de systèmes de plaine recourant au mélange ensilage d'herbe + ensilage de maïs, b) d'une réduction chez tous les éleveurs recourant à l'ensilage de maïs (plaine ou piémont) de 30 % de la part de ce fourrage au profit d'un mélange ensilage d'herbe + foin. Un profil en AG du lait « modifié (MOD) » a ensuite été calculé comme précédemment. Ces hypothèses ont été estimées comme étant des modifications maximales compte tenu des contraintes agronomiques et pédoclimatiques ainsi que de la nécessité de conserver une part importante d'ensilage de maïs dans l'affouragement pour des raisons de couverture des besoins alimentaires des vaches laitières à haut niveau de production. Néanmoins, pour la population humaine adulte et celle des enfants, une simulation de consommation de « lait de filière herbe » issu de vaches exclusivement alimentées avec de l'ensilage d'herbe (majoritaire) et du foin a été également réalisée afin d'identifier la plage de variation maximale des apports en AG, en particulier AG *trans* et ALA.

Pour l'alimentation estivale, une approche identique à celle décrite ci-dessus a été utilisée en se limitant à la seule simulation du changement chez 30 % des éleveurs de plaine substituant un système fourrager à base d'ensilage de maïs par un système basé sur l'herbe. Cette proportion plus importante d'éleveurs que dans la simulation hivernale a été justifiée par la plus grande possibilité d'opérer ces changements de type fourrager en période estivale, sous l'hypothèse d'une disponibilité en herbe non limitante. Par ailleurs, compte tenu du faible nombre de données, il n'a pas été possible de simuler les variations des caractéristiques de différents pâturages comme l'altitude (plaine contre montagne), la diversité de leur flore ou de sa période d'exploitation. Néanmoins, une simulation de consommation de « lait de filière herbe » uniquement produit à l'herbe en zone de moyenne montagne a également été réalisée pour la population adulte et celle des enfants.

Les données présentées (tableaux 73A et 74A) indiquent sur une base d'alimentation hivernale ou estivale (6 mois chacune) les niveaux de consommation quotidiens en AG des différentes populations ingérant un lait de référence (REF) ou un lait issu de la modification des systèmes fourragers (MOD). Les données des tableaux 73B et 74B correspondent aux simulations concernant des « laits de filière herbe » en période hivernale et estivale, respectivement. Il faut néanmoins noter que, lorsqu'on considère l'effet de ces pratiques alimentaires en élevage sur une consommation annuelle de MG par l'Homme, les variations induites durant une saison de production sont atténuées puisque le lait produit pendant une saison donnée peut être consommé sous différentes formes durant toute l'année.

En situation hivernale (tableau 73A), le changement de systèmes fourragers associé à la réduction de l'ensilage de maïs intra-systèmes ne réduit que modestement la consommation totale d'AGS (- 110 à - 140 mg/j selon la classe de population considérée). Cette réduction correspond essentiellement à la réduction de la consommation des AG de 12:0 à 16:0 (- 100 à - 125 mg/j selon la classe de population considérée), le 18:0 étant systématiquement accru (comprise entre + 30 à + 40 mg/j). Ces modifications des systèmes fourragers hivernaux induisent également une très faible réduction de la consommation des AG *trans* totaux, une réduction du LA (- 25 à - 30 mg/j) et une augmentation faible de l'ALA (+ 4 à + 5 mg/j).

Pour la population adulte et celle des enfants, la synthèse des variations de consommation des différents groupes d'AG est présentée au tableau 72A (mg/j) ou 72B (% de la consommation moyenne chez l'adulte). Rapportée à la consommation moyenne totale de ces différents groupes d'AG<sup>6</sup>, toutes origines confondues, la réduction de la consommation des AGS est de l'ordre de - 0,3 %, ce qui est négligeable (pour ce mode d'expression des modifications des consommations, voir les tableaux 73<sup>7</sup>). Pour les AG *trans* totaux hors CLA, la réduction est également négligeable puisqu'elle est inférieure à - 0,1 % de la consommation moyenne totale, toutes origines de ces AG confondues. La consommation des CLA totaux n'est pas modifiée.

---

<sup>6</sup> Lorsque les variations de consommation des AG ou familles d'AG sont rapportées à la consommation moyenne totale de la population française, les valeurs de référence sont celles tirées du rapport Afssa sur les AG *trans* (Afssa, 2005 a), soit :

1/ des AGS : 40 g/j chez les adultes, 35 g/j chez les enfants ;  
2/ des AG *trans* totaux hors CLA : 3 g/j chez les adultes, 2,85 g/j chez les enfants ;  
3/ des AGMI *trans* : 2,1 g/j chez les adultes, 2 g/j chez les enfants ;  
4/ des CLA : 180 mg/j chez les adultes, 160 mg/j chez les enfants ; il a été estimé que les consommations de 18 :2 9c,11f et de 18 :2 10t,12c représentaient respectivement 90 % et 10 % de celle des CLA.

<sup>7</sup> Ne sont rapportées dans ce tableau 72 B que les modifications rapportées à la consommation des adultes ; celles rapportées à la consommation des enfants sont très peu différentes.

Tableau 72 A : Synthèse des effets des modifications des pratiques alimentaires sur les variations de consommations de certains AG ou groupes d'AG (mg/j) dans la population française<sup>1</sup>.

		Modification partielle du système fourrager associée à la réduction de l'ensilage de maïs		Modification totale du système fourrager associée à l'utilisation exclusive de l'herbe fraîche (été) ou conservée (hiver) (Lait de filière)		Diminution des aliments concentrés de 30 % (MS ingérée)	Apport de graines d'oléo-protéagineux				(Adoption = 100 % des éleveurs) (Lait de filière)	Apport de lipides végétaux dans des rations riches en amidon (Ensilage de maïs > 40 % de la ration ou apport de concentré > 60 %)	Apport moyen de CLA (13,8 g/j)
		Hiver	Eté	Hiver	Eté		Colza	Lin	Soja	Tourne sol			
Population adulte	AGS totaux	-132	-85	-430	-285	20	-308	-364	-369	-481	-1821	-420 à -610	-127
	Somme 12:0 à 16:0	-120	-71	-361	-236	35	-411	-486	-446	-505	-2428	-480 à -490	-85
	AG trans totaux hors CLA	<5	13	-10	46	-82	<10	60	86	151	299	160 à 440	21
	18:1 10t	<5	<5	-16	<5	-50	nd	40	<5	nd	200	150 à 290	<10
	18:1 11t	<5	<10	<5	18	15	24	25	48	nd	124	60 à 110	<5
	CLA totaux	<5	<10	<5	15	20	<10	15	20	30	75	14 à 63	21
	18:2 9c,11t	<5	<10	<5	15	16	5	11	17	26	54	18 à 51	<5
	18:2 10t,12c	<5	<5	<5	<5	5	nd	<10	<5	nd	28	<5	<5
	LA	-29	-10	-94	-30	-113	-23	-7	67	33	-33	-10 à +40	17
	ALA	5	<5	16	14	43	<5	24	8	<5	121	-3 à +12	<5
DHA	nd	nd	nd	nd	nd	<5	<5	<5	<5	<5	nd	nd	

		Modification partielle du système fourrager associée à la réduction de l'ensilage de maïs		Modification totale du système fourrager associée à l'utilisation exclusive de l'herbe fraîche (été) ou conservée (hiver) (Lait de filière)		Diminution des aliments concentrés de 30 % (/MS ingérée)	Apport de graines d'oléo-protéagineux					Apport de lipides végétaux dans des rations riches en amidon (Ensilage de maïs > 40 % de la ration ou apport de concentré > 60 %)	Apport moyen de CLA (13,8 g/j)
		Hiver	Eté	Hiver	Eté		Colza	Lin	Soja	Tourne sol	Lin		
Population enfants (3-14 ans)	AGS totaux	-110	-71	-360	-237	17	-257	-304	-307	-401	-1518	-350 à -510	-106
	Somme 12:0 à 16:0	-100	-59	-308	-197	29	-343	-405	-372	-421	-2023	-400 à -410	-71
	AG trans totaux hors CLA	<5	15	-8	38	-69	<10	50	72	127	249	140 à 370	18
	18:1 10t	<5	<5	-13	<5	-43	nd	33	<5	nd	167	130 à 245	<10
	18:1 11t	<5	<5	<5	15	12	20	21	40	nd	103	50 à 90	<5
	CLA totaux	<5	<5	<5	15	17	<10	12	17	25	62	10 à 55	17
	18:2 9c,11t	<5	<5	<5	13	13	<5	<10	14	21	45	15 à 45	<5
	18:2 10t,12c	<5	<5	<5	<5	<5	nd	<10	<5	nd	23	<5	<5
	LA	-24	-7	-78	-25	-95	-19	-5	56	27	-27	-6 à +30	14
	ALA	<5	<5	13	12	35	<5	20	<10	<5	101	-3 à <10	<5
	DHA	nd	nd	nd	nd	nd	<5	<5	<5	<5	<5	nd	nd

<sup>1</sup> AGS totaux = somme des AGS. AG trans totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison trans. Somme 12:0 à 16:0 = somme des AGS pairs de 12 à 16 atomes de C. CLA totaux = ensemble des CLA. nd = non déterminé.

**Tableau 72 B : Synthèse des effets des différentes modifications des pratiques alimentaires sur les variations de consommations de certains AG ou groupes d'AG (% de la consommation journalière) dans la population adulte française<sup>1</sup>.**

	Repères de consommation adulte <sup>2</sup> ou ANC (LA, ALA, DHA) (mg/j)	Modification partielle du système fourrager associée à la réduction de l'ensilage de maïs		Modification totale du système fourrager associée à l'utilisation exclusive de l'herbe fraîche (été) ou conservée (hiver) (Lait de filière)		Diminution des aliments concentrés de 30 % (/MS ingérée)	Apport de graines d'oléo-protéagineux				Apport de lipides végétaux dans des rations riches en amidon (Ensilage de maïs > 40 % de la ration ou apport de concentré > 60 %)	Apport moyen de CLA (13,8 g/j)	
		Hiver	Eté	Hiver	Eté		Colza	Lin	Soja	Tournesol			Lin
<b>AGS totaux</b>	40000	-0,3	-0,2	-1,1	-0,7	0,1	-0,8	-0,9	-0,9	-1,2	-4,6	-1,0 à -1,5	-0,3
<b>AG trans totaux hors CLA</b>	3100	<0,1	0,4	-0,3	1,5	-2,6	-0,3	1,9	2,8	4,9	9,6	5,1 à 14,2 <sup>4</sup>	0,7
<b>CLA totaux</b>	180	0	2,8	0	8,3	11,1	4,4	8,3	11,1	16,7	41,7	7,7 à 35	11,7
<b>18:2 9c,11t</b>	160	<0,1	3,1	<0,1	9,4	10,0	3,1	6,9	10,6	16,3	33,8	10 à 28	3,0
<b>18:2 10t,12c</b>	20	0	0	<0,1	0	25,0	nd	30	5	nd	140	0 à 1%	15
<b>LA<sup>3</sup></b>	8900	-0,3	-0,1	-1,1	-0,3	-1,3	-0,3	-0,1	0,8	0,4	-0,4	-0,1 à 0,5	0,2
<b>ALA<sup>3</sup></b>	2200	0,2	<0,1	0,7	0,6	2	<0,1	1,1	0,4	<0,1	5,5	-0,1 à +0,6	<0,2
<b>DHA<sup>3</sup></b>	250	nd	nd	nd	nd	nd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	nd	nd

<sup>1</sup> AGS totaux = somme des AGS. AG trans totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison trans. CLA totaux = ensemble des CLA. nd = non déterminé.

<sup>2</sup> Consommation journalière moyenne totale dans la population ; les valeurs de la ligne représentent la variation en % de cette consommation journalière, à l'exception du LA, ALA et DHA.

<sup>3</sup> La valeur de la ligne représente la variation en % de l'ANC 2010 (Afssa, 2010 a).

<sup>4</sup> Principalement dû à l'accroissement du 18:1 10t.

La simulation des consommations de MG laitières issues de vaches exclusivement alimentées à base d'ensilage d'herbe et de foin (lait de filière) en automne-hiver est présentée au tableau 73B. Les variations de consommation induites sont de plus forte amplitude qu'avec les hypothèses précédentes : en moyenne, la consommation des AGS totaux est réduite (- 360 à - 430 mg/j dont - 310 à - 360 mg/j pour la somme 12:0 à 16:0) ce qui représente une diminution de - 1 % de la consommation totale d'AGS, toutes origines confondues. La diminution de la consommation d'AG *trans* totaux hors CLA reste négligeable puisqu'elle est inférieure à - 0,5 % de la consommation moyenne totale de ces AG, toutes origines confondues. La consommation de CLA n'est pas modifiée. Par ailleurs, l'apport d'ALA est accru de + 10 à + 16 mg/j pour la population des enfants et celle des adultes respectivement, au détriment du LA (- 78 à - 94 mg/j). Cet accroissement de consommation de l'ALA chez l'adulte représente environ 0,7 % de l'ANC (Afssa, 2010 a) Parallèlement, les quantités consommées d'AGMI *cis* sont accrues (+ 140 à + 170 mg/j soit environ 0,4 % de l'ANC 2010).

**Tableaux 73 : Effet de la modification des systèmes fourragers chez les bovins laitiers en période hivernale sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française<sup>1,2,3</sup>**

**A) Hypothèses : baisse de 30 % de l'ensilage de maïs dans le système fourrager et changement global de système fourrager chez 10 % des éleveurs passant de système « ensilage de maïs » à un système « ensilage de maïs + ensilage d'herbe + foin ».**

Population	Adultes		+ de 65 ans		Enfants (3-14 ans)	
	REF	MOD	REF	MOD	REF	MOD
AGS	16,156	-0,132	16,792	-0,138	13,464	-0,110
Somme 12:0-16:0	11,331	-0,120	11,777	-0,125	9,443	-0,100
12:0	0,923	-0,033	0,960	-0,034	0,769	-0,027
14:0	2,882	-0,032	2,996	-0,033	2,402	-0,026
16:0	7,525	-0,056	7,822	-0,058	6,272	-0,046
18:0	2,234	+0,040	2,322	+0,041	1,862	+0,033
<i>cis</i> AGMI	4,510	+0,059	4,687	+0,061	3,759	+0,049
<i>trans</i> totaux	0,685	-0,002	0,712	-0,002	0,571	-0,002
CLA totaux	0,135	+0,000	0,140	+0,000	0,113	0,000
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,55	-0,002	0,572	-0,002	0,458	-0,002
18:2 9c,11t	0,110	-0,001	0,115	-0,001	0,092	-0,001
18:2 10t,12c	0,003	+0,000	0,003	+0,000	0,002	0,000
18:1 9t	0,044	+0,002	0,046	+0,002	0,037	+0,002
18:1 10t	0,057	-0,005	0,060	-0,005	0,048	-0,004
18:1 11t	0,362	+0,001	0,376	+0,001	0,302	+0,001
LA	0,428	-0,029	0,444	-0,030	0,356	-0,024
ALA	0,102	+0,005	0,106	+0,005	0,085	+0,004

**B) Hypothèses : Réduction totale de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans tous les systèmes fourragers au profit de l'ensilage d'herbe et du foin (lait de filière « herbe »).**

Population	Adultes		Enfants (3-14 ans)	
	REF	MOD	REF	MOD
AGS	16,156	-0,430	13,464	-0,359
Somme 12:0-16:0	11,331	-0,361	9,443	-0,308
12:0	0,923	-0,104	0,769	-0,087
14:0	2,882	-0,097	2,402	-0,081
16:0	7,525	-0,168	6,272	-0,140
18:0	2,234	0,107	1,862	0,089
<i>cis</i> AGMI	4,510	0,169	3,759	0,141
<i>trans</i> totaux	0,685	-0,010	0,571	-0,008
CLA totaux	0,135	0,000	0,113	0,000
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,55	-0,01	0,458	-0,008
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,110	-0,001	0,092	0,001
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,003	0,001	0,002	0,001
18:1 9 <i>t</i>	0,044	0,006	0,037	0,005
18:1 10 <i>t</i>	0,057	-0,016	0,048	-0,013
18:1 11 <i>t</i>	0,362	-0,003	0,302	-0,002
LA	0,428	-0,094	0,356	-0,078
ALA	0,102	0,016	0,085	0,013

1) REF: Consommation des groupes d'AG (g/j) avant modification du système fourrager. MOD : variation de consommation (g/j) des différents AG par rapport à REF suite au changement du système fourrager.

2) AGS = somme des AS. *trans* totaux= somme de tous les AG ayant au moins une liaison *trans*. Somme12:0-16:0 = somme des AGS pairs de 12 à 16 atomes de C. AGMI *cis*= somme des AGMI de configuration *cis*. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf. tableaux 13 (régime H4) et 15.

En période estivale, les variations induites par les changements d'alimentation fourragère chez 30 % des éleveurs (tableau 74A) sont de même nature qu'en période hivernale pour les AGS, mais de plus faible amplitude du fait de la part déjà importante de l'herbe dans les systèmes « REF ». Il existe une légère augmentation des AG *trans* totaux. Ces modifications pourraient néanmoins être un peu plus élevées (tableau 74B) si la MG laitière consommée provient de « laits de filière herbe » exclusivement produits par des vaches laitières pâturant de l'herbe de moyenne montagne. Dans le cas de régime herbe de moyenne montagne comparé à un système de plaine avec 1/3 de l'aliment en ensilage de maïs et 2/3 ensilage d'herbe (pâturée ou foin), la consommation d'AGS est réduite de - 235 à - 285 mg/j selon la classe de population considérée (soit environ - 0,6 % de la consommation totale d'AGS toutes origines confondues) avec une réduction de - 200 à - 240 mg/j pour la somme de 12:0 à 16:0. Simultanément, la consommation d'AG *trans* totaux est accrue de 50 à 60 mg/j (essentiellement liée à l'accroissement du 18:1 11*t* et du CLA 18:2 9*c*,11*t*) et celle des AG *trans* totaux hors CLA d'environ 40 mg/j, ce qui représente une augmentation limitée, de 1,3 % de la consommation moyenne totale, toutes origines confondues. Les accroissements de consommation des sommes des isomères 9*t*, 10*t* et 11*t* du 18:1 et du 18:2 9*c*,11*t* restent faibles (moins de 5 % et de l'ordre de 10 % respectivement, de la consommation de ces AG, toutes origines confondues). La consommation de l'ALA est accrue de 12 à 14 mg/j (soit

environ 0,6 % des ANC 2010 chez l'adulte et l'adolescent (10-18 ans). Parallèlement, la consommation des AGMI *cis* est accrue de 40 à 50 mg/j.

**Tableaux 74 : Effet de la modification des systèmes fourragers chez les bovins laitiers en période estivale sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française<sup>1,2,3</sup>**

**A) Hypothèse : changement global de systèmes fourragers chez 30 % des éleveurs, passant de systèmes « 2/3 ensilage d'herbe + 1/3 ensilage de maïs » à des systèmes « herbe de moyenne montagne ».**

Population	Adultes		+ de 65 ans		Enfants (3-14 ans)	
	REF	MOD	REF	MOD	REF	MOD
AGS	14,983	-0,085	15,573	-0,089	12,487	-0,071
Somme 12:0-16:0	10,276	-0,071	10,681	-0,074	8,564	-0,059
12:0	0,805	-0,012	0,837	-0,012	0,671	-0,010
14:0	2,670	-0,015	2,775	-0,016	2,225	-0,013
16:0	6,801	-0,044	7,069	-0,046	5,668	-0,037
18:0	2,342	0,006	2,434	0,007	1,952	0,005
<i>cis</i> AGMI	4,738	0,015	4,925	0,016	3,949	0,013
<i>trans</i> totaux	1,066	0,018	1,108	0,019	0,889	0,015
CLA totaux	0,225	0,005	0,234	0,005	0,188	0,004
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,841	+0,013	0,874	+0,014	0,701	+0,011
18:2 9c,11t	0,210	0,005	0,218	0,006	0,175	0,004
18:2 10t,12c	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000
18:1 9t	0,046	0,000	0,048	0,000	0,038	0,000
18:1 10t	0,054	-0,001	0,056	-0,001	0,045	-0,001
18:1 11t	0,494	0,005	0,514	0,006	0,412	0,004
LA	0,355	-0,009	0,368	-0,009	0,295	-0,007
ALA	0,163	0,004	0,170	0,004	0,136	0,003

**B) Hypothèse : changement global de systèmes fourragers chez 100 % des éleveurs passant de systèmes « 2/3 ensilage d'herbe + 1/3 ensilage de maïs » à des systèmes « herbe de moyenne montagne » (lait de filière).**

Population	Adultes		Enfants (3-14 ans)	
	REF	MOD	REF	MOD
AGS	14,983	-0,285	12,487	-0,237
Somme 12:0-16:0	10,276	-0,236	8,564	-0,197
12:0	0,805	-0,038	0,671	-0,032
14:0	2,670	-0,051	2,225	-0,042
16:0	6,801	-0,147	5,668	-0,122

Population	Adultes		Enfants (3-14 ans)	
18:0	2,342	0,021	1,952	0,018
cis AGMI	4,738	0,051	3,949	0,042
trans totaux	1,066	0,061	0,889	0,051
CLA totaux	0,225	0,015	0,188	0,015
AG trans totaux hors CLA	0,841	+0,046	0,701	+0,038
18:2 9c,11t	0,210	0,015	0,175	0,013
18:2 10t,12c	0,003	0,000	0,002	0,000
18:1 9t	0,046	0,001	0,038	0,001
18:1 10t	0,054	-0,004	0,045	-0,003
18:1 11t	0,494	0,018	0,412	0,015
LA	0,355	-0,030	0,295	-0,025
ALA	0,163	0,014	0,136	0,012

1) REF : Consommation des groupes d'AG (g/j) avant modification du système fourrager. MOD : variation de consommation (g/j) des différents AG par rapport à REF suite au changement du système fourrager.

2) AGS = somme des AG saturés. trans totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison trans. Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. cis AGMI = somme des AGMI de configuration cis. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf. tableaux 13 et 15.

**Conclusion.** Les variations modestes de consommation d'AG après modification des systèmes fourragers en période automne-hiver tiennent d'abord aux hypothèses de simulation tablant sur une modification de seulement 10 % des systèmes fourragers dans leur globalité associée à une réduction de 30 % de l'ensilage de maïs dans tous les systèmes recourant à ce fourrage. Elles tiennent d'autre part à la faible variation des profils en AG du lait produit à partir des différents fourrages. Les simulations montrent néanmoins que durant cette période, l'accroissement de l'ensilage d'herbe et du foin dans la ration permet d'améliorer modestement le profil en AG du lait avec une faible réduction des AGS sans accroissement sensible des AG trans. La consommation de lait de vaches recevant en hiver une alimentation exclusivement basée sur l'herbe conservée (ensilage d'herbe + foin) induit des variations plus élevées mais elles restent quantitativement modestes dans la mesure où, pour la majorité des systèmes considérés (hors système majoritairement à base d'ensilage de maïs), la part de l'ensilage d'herbe et du foin est déjà importante.

La faible amplitude des variations induites par les changements en période estivale tient au fait que la situation de départ est caractérisée par des systèmes fourragers ayant déjà largement recours au pâturage (ce qui limite les possibilités de changement). Dans le cas extrême de consommation exclusive de MG issues de « laits de filière herbe » en provenance d'élevages uniquement situés en zone de moyenne montagne, les variations estivales sont numériquement plus élevées mais leur ampleur reste modeste, ou concernent principalement le 18:1 11t.

Ces situations de production estivale ou hivernale de lait de vaches alimentées à l'herbe fraîche ou conservée pourraient ainsi refléter d'éventuelles relocalisations des systèmes de production des zones de plaine dans des zones plus propices à l'herbe (zone de Piémont ou de montagne) du fait d'une demande par le consommateur pour de tels produits ou du fait de l'utilisation des zones de plaines pour des activités non liées à l'élevage des vaches laitières (céréales, agro-carburants...).

D'une façon générale, les modifications de consommation liées à ces changements de systèmes alimentaires ne sont pas, globalement, de nature à modifier sensiblement les apports nutritionnels du consommateur.

#### 1.4. Influence de la proportion d'aliments concentrés au sein des rations

La simulation des effets de l'apport des concentrés dans les rations des bovins laitiers s'est focalisée sur une réduction de ces apports, du fait de l'accroissement des proportions des AG *trans* totaux dans le lait lors d'utilisation importante de concentrés, en particulier chez les vaches consommant des rations pauvres en fourrages. Cette simulation pourrait correspondre en pratique à la réduction de la part des céréales dans l'alimentation, du fait de l'accroissement de leur prix dans des contextes économiques fluctuants. Compte tenu de la nature des données disponibles (écart de profil suite à des variations d'apport d'un tiers environ du pourcentage d'aliments concentré et effet de ces variations dans des rations à fort (C) ou faible (F) pourcentage initial de concentrés, la simulation effectuée a consisté dans une première étape à fixer les contributions respectives à la production nationale de lait des éleveurs (C) et (F), soit 35 et 65 %, respectivement. Dans une seconde étape, une hypothèse de réduction unique d'environ 30 % du pourcentage de concentré, soit de 46 % à 14 % de la matière sèche ingérée par les vaches chez les éleveurs (F) et de 80 à 46 % par celles des éleveurs (C) a été simulée avec un taux d'adoption de cette pratique de 50 % pour les éleveurs (F) et (C).

Les données sont présentées au tableau 75 en écart de consommation d'AG (g/j) puisque les données introduites dans la simulation sont exprimées en variation de profil d'AG du lait.

**Tableau 75 : Effet de la réduction d'apport d'aliments concentrés chez les bovins laitiers sur la variation de consommation d'AG d'origine laitière (g/j) dans diverses catégories de la population française<sup>1,2</sup>**

Hypothèse : réduction de 30 % de l'apport d'aliments concentrés dans 50 % des élevages

Population	Adultes	+ de 65 ans	Enfants (3-14 ans)
AGS	+0,020	+0,021	+0,017
Somme 12:0-16:0	+0,035	+0,037	+0,029
12:0	-0,054	-0,056	-0,045
14:0	-0,069	-0,071	-0,057
16:0	+0,157	+0,164	+0,131
18:0	+0,061	+0,063	+0,051
<i>cis</i> AGMI	+0,145	+0,150	+0,121
<i>trans</i> totaux	-0,062	-0,064	-0,052
CLA totaux	+0,020	+0,021	+0,017
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	-0,082	-0,085	-0,069
18:2 9c,11t	+0,016	+0,017	+0,013
18:2 10t,12c	+0,004	+0,005	+0,004
18:1 9t	-0,007	-0,008	-0,006
18:1 10t	-0,051	-0,053	-0,043
18:1 11t	+0,015	+0,015	+0,012
LA	-0,113	-0,118	-0,095
ALA	0,043	+0,044	+0,035

1) AGS = somme des AG saturés. *trans* totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison *trans*. Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. AGMI *cis* = somme des AGMI de configuration *cis*. CLA totaux = ensemble des CLA.

2) Source : cf. tableau 16.

La réduction d'un 1/3 des apports de concentrés chez 50 % des éleveurs induit une augmentation modeste de la consommation d'AGS comprise entre + 17 mg/j et + 20 mg/j suivant la population considérée, (soit environ 0,1 % de la consommation totale d'AGS, toutes origines confondues). Cet accroissement est principalement dû à celui du 16:0 (+ 130 à + 165 mg/j) et du 18:0 (+ 50 à + 65 mg/j), les autres AGS étant réduits, surtout les 12:0 et 14:0. La consommation des AG *trans* totaux est réduite de - 50 à - 65 mg/j, essentiellement en raison de la réduction de l'isomère 18:1 10*t* (- 43 à - 55 mg/j). La consommation moyenne totale des AG *trans* totaux hors CLA diminue de -70 à -85 mg/j (soit une diminution de l'ordre de 2,5 % de la consommation moyenne totale, toutes origines confondues). Par ailleurs, l'effet sur la consommation des CLA est faible puisque celle-ci augmente de 13 à 16 mg/j pour l'isomère 18:2 9*c*,11*t* et de moins de 5 mg/j pour l'isomère 10*t*,12*c*. Ceci représente une augmentation de ces isomères respectivement d'environ 10 % et 20 % rapportée à la consommation moyenne totale, toutes origines confondues. La consommation de LA est réduite (- 95 à - 120 mg/j) et celle de l'ALA est accrue (+ 35 à + 45 mg/j, soit 1,8% de l'ANC chez l'adulte et l'enfant de plus de 10 ans). Les résultats obtenus sont néanmoins très largement influencés par l'hypothèse du taux d'adoption de cette pratique par 50 % des éleveurs, du fait des variations induites sur le profil en AG qui ne sont pas de même nature suivant le type d'éleveur (C ou F) qui les met en pratique.

**Conclusion.** La réduction d'environ un tiers de l'apport d'aliment concentré (céréales et tourteaux) chez 50 % des éleveurs, quelle que soit leur pratique d'utilisation de ces aliments, aurait pour résultat essentiel de diminuer sensiblement la consommation des AG *trans* totaux, particulièrement les AGMI *trans* hors l'isomère 18:1 11*t*. Cette réduction des aliments concentrés présente pour le consommateur des conséquences plutôt bénéfiques en termes d'apports nutritionnels.

### 1.5. Influence de l'apport de graines d'oléo-protéagineux dans les rations

La simulation concernant l'effet de l'apport d'oléo-protéagineux a été focalisée sur l'incorporation de graines entières non protégées de colza, lin, soja ou de tournesol en comparaison à des rations sans sources spécifiques de lipides (Rations témoins REF). Les niveaux d'incorporation moyens de ces graines ont été compris entre 3,0 et 3,8 % de MG en supplément des apports des rations REF, ce qui représente des quantités de graines ingérées comprises entre 500 et 800 g/j de lipides provenant des graines. La simulation effectuée a été basée sur un taux d'adoption de ces graines par 20 % des éleveurs sur une période de 6 mois (essentiellement en période hivernale). Par ailleurs, l'information limitée pour les isomères des AGMI *trans* (souvent restreinte à l'isomère 18:1 11*t* dans le cas des graines de tournesol ou de colza) a amené à n'effectuer que des simulations concernant la population adulte et celle des enfants.

Par ailleurs, une simulation fondée sur la consommation dans ces deux populations d'un « lait de filière lin » exclusivement issu de vaches dont la ration contient de la graine de lin (adoption des graines par 100 % des éleveurs d'une zone géographique limitée durant la phase hivernale d'alimentation) a également été réalisée. Cette simulation permet de mimer les bénéfices pour des consommateurs faisant le choix systématique de ces produits laitiers, notamment ceux sensibles à l'argument nutritionnel d'enrichissement en ALA.

Enfin, pour tenir compte des interactions digestives entre apport d'amidon et complémentation lipidique, la consommation d'AG par les adultes et les enfants a été simulée sur la base d'une utilisation de rations à base d'ensilage de maïs (> 40 % de la matière sèche ingérée) ou de rations à fort pourcentage d'aliments concentrés (> 60 % de la matière sèche ingérée), deux matières premières riches en amidon et supplémentées toutes deux par des lipides d'oléo-protéagineux. Comme précédemment, la fréquence de

l'utilisation de ces rations a été fixée dans chaque cas à 20 % des éleveurs durant la phase hivernale d'alimentation.

Les données de simulation sont présentées au tableau 76A (population adulte) et au tableau 76B (population des enfants) pour l'adoption des différentes graines chez 20 % des éleveurs. Dans la population adulte, l'apport des différentes graines réduit la quantité d'AGS de - 300 à - 480 mg/j en fonction de la graine considérée. Cette réduction est principalement liée à celle du 16:0 (- 290 mg/j à - 340 mg/j) et plus marginalement à celle du 14:0 (- 80 à - 120 mg/j) tandis que le 18:0 est systématiquement accru (+ 130 à + 230 mg/j). Ces effets sont les plus marqués pour la graine de tournesol et les plus faibles pour la graine de colza, les graines de soja et de lin étant intermédiaires. Rapportée à la consommation moyenne totale d'AGS, toutes origines confondues, la diminution de consommation de ces AG est comprise entre 0,75 % et 1,2 %. A l'exception de la graine de colza, la consommation d'AG *trans* totaux est accrue de + 75 à + 180 mg/j, l'effet le plus marqué étant obtenu avec la graine de tournesol tandis que la consommation d'AG *trans* totaux hors CLA augmente de + 60, + 90 et + 150 mg/j, respectivement, pour les graines de lin, de soja et de tournesol ; ceci représente un accroissement de + 2 à + 5 % rapporté à la consommation moyenne totale de ces AG, toutes origines confondues. L'absence de données complètes pour les isomères *trans* du 18:1 et des CLA ne permet pas de hiérarchiser facilement les graines entre elles concernant ces AG. Néanmoins, la graine de tournesol induit l'accroissement de consommation du 18:2 9*c*,11*t* le plus élevé (+ 30 mg/j), soit une augmentation maximale de 20 % rapportée à la consommation moyenne totale de 18:2 9*c*,11*t*. Les consommations quotidiennes d'ALA ne sont accrues que par les graines de lin (+ 24 mg/j, soit de l'ordre de 1 % de l'ANC (Afssa, 2010 a). Les consommations des AGPI-LC ne sont pas modifiées par l'apport des graines d'oléo-protéagineux. Dans la population des enfants (tableau 76B), les effets des graines d'oléo-protéagineux sont qualitativement et quantitativement de même nature que ceux simulés dans la population adulte.

**Tableau 76 : Effet d'apport de diverses graines d'oléo-protéagineux (3-4 % huile dans MS ration) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses classes de la population française<sup>1,2,3</sup>**

A) Hypothèses : Consommation moyenne de MG dans la population adulte. Adoption des graines par 20 % des éleveurs durant l'alimentation hivernale.					
	REF	Colza	Lin	Soja	Tournesol
AGS	16,014	-0,308	-0,364	-0,369	-0,481
Somme 12:0-16:0	11,065	-0,411	-0,486	-0,446	-0,505
12:0	0,934	-0,038	-0,042	-0,040	-0,052
14:0	2,848	-0,084	-0,107	-0,093	-0,117
16:0	7,284	-0,289	-0,336	-0,313	-0,336
18:0	2,241	+0,163	+0,210	+0,131	+0,233
<i>cis</i> AGMI	5,416	+0,219	+0,263	+0,103	+0,392
<i>trans</i> totaux	0,724	0,000	+0,075	+0,103	+0,177
CLA totaux	0,163	+0,008	+0,015	+0,020	+0,030
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,561	-0,008	+0,060	+0,086	+0,151
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,133	+0,005	+0,011	+0,017	+0,026
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,005		+0,006	+0,001	
18:1 9 <i>t</i>	0,061		+0,019	+0,013	

	REF	Colza	Lin	Soja	Tournesol
18:1 10t	0,126		+0,040	+0,002	
18:1 11t	0,367	+0,024	+0,025	+0,048	
LA	0,584	-0,023	-0,007	+0,067	+0,033
ALA	0,131	+0,003	+0,024	+0,008	0,000
DPA	0,019	+0,007	+0,000	+0,001	+0,001
EPA	0,012	+0,001	+0,001	0,000	0,000
DHA	0,007	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001

B) Hypothèses : Consommation moyenne de MG dans la population infantile.  
Adoption des graines par 20 % des éleveurs durant l'alimentation hivernale.

	REF	Colza	Lin	Soja	Tournesol
AGS	13,347	-0,257	-0,304	-0,307	-0,401
Somme 12:0-16:0	9,222	-0,343	-0,405	-0,372	-0,421
12:0	0,778	-0,032	-0,035	-0,033	-0,043
14:0	2,374	-0,070	-0,089	-0,078	-0,097
16:0	6,070	-0,241	-0,280	-0,261	-0,280
18:0	1,868	+0,136	+0,175	+0,109	+0,195
cis AGMI	4,514	+0,182	+0,219	+0,086	+0,327
trans totaux	0,603	0,001	+0,062	+0,086	+0,148
CLA totaux	0,136	+0,007	+0,012	+0,017	+0,025
AG trans totaux hors CLA	0,467	-0,006	+0,050	+0,072	+0,127
18:2 9c,11t	0,111	+0,004	+0,009	+0,014	+0,021
18:2 10t,12c	0,004		+0,005	+0,001	
18:1 9t	0,051		+0,016	+0,011	
18:1 10t	0,105		+0,033	+0,002	
18:1 11t	0,305	+0,020	+0,021	+0,040	
LA	0,486	-0,019	-0,005	+0,056	+0,027
ALA	0,109	+0,003	+0,020	+0,007	0,000
EPA	0,010	+0,001	+0,001	0,000	0,000
DPA	0,016	+0,005	0,000	+0,001	+0,001
DHA	0,006	-0,001	-0,001	+0,000	-0,001

1) REF : Consommation des groupes d'AG (g/j) avant introduction des graines (Colza, Lin, Soja, Tournesol) dans l'alimentation.

2) AGS = somme des AG saturés. trans totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison trans. Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. AGMI cis = somme des AGMI de configuration cis. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf. tableaux 18 et 19.

Dans le cas d'adoption de la graine de lin par 100 % d'éleveurs d'une filière spécialisée (« lait de filière lin »), la consommation des différents groupes d'AG est plus fortement modifiée (tableau 77). En considérant la consommation moyenne de MG chez les enfants et

les adultes, la quantité ingérée d'AGS est réduite de - 1,50 à - 1,80 g/j avec une diminution importante du 16:0 (- 1,40 à - 1,70 g/j) et du 14:0 (- 0,45 à - 0,55 g/j). Cette situation correspond à une réduction sensible comprise entre - 4 et - 5 % de la consommation moyenne totale des AGS toutes origines confondues. Cette réduction s'accompagne d'un accroissement important de celle des AG *trans* totaux (+ 0,30 à + 0,37 g/j) due à l'accroissement des isomères 9*t*, 10*t* et 11*t* du 18:1 ainsi que du 18:2 9*c*,11*t* et dans une moindre mesure de l'isomère 18:2 10*t*,12*c*. L'augmentation des AG *trans* totaux hors CLA se situe entre + 0,25 g/j pour les enfants et + 0,30 g/j pour les adultes, soit une augmentation de l'ordre de + 10 % rapportée à la consommation moyenne totale de ces AG, toutes origines confondues. Pour les CLA, l'accroissement relatif de la consommation est de + 33 % pour le 18:2 9*c*,11*t* et de 140 % pour le 18:2 10*t*,12*c*. La consommation quotidienne d'ALA est fortement accrue (+ 100 à + 120 mg/j), ce qui équivaut à environ 5 % de l'ANC (Afssa, 2010 a). Les consommations des AGPI-LC ne sont quasiment pas modifiées par l'adoption de la graine de lin.

**Tableau 77 : Effet de l'apport de graines de lin (3,5 % huile dans MS ration) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française<sup>1,2,3</sup>**

Hypothèse : adoption des graines de lin par 100 % des éleveurs  
durant l'alimentation hivernale (lait de filière)

Population	Adultes		Enfants (3-14 ans)	
	REF	LIN	REF	LIN
AGS	16,014	-1,821	13,347	-1,518
Somme 12:0-16:0	11,065	-2,428	9,222	-2,023
12:0	0,934	-0,210	0,778	-0,175
14:0	2,848	-0,537	2,374	-0,447
16:0	7,284	-1,681	6,070	-1,401
18:0	2,241	1,051	1,868	0,876
<i>cis</i> AGMI	5,416	1,314	4,514	1,095
<i>trans</i> totaux	0,724	0,374	0,603	0,311
CLA totaux	0,163	0,075	0,136	0,062
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,561	+0,299	0,467	+0,249
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,133	0,054	0,111	0,045
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,005	0,028	0,004	0,023
18:1 9 <i>t</i>	0,061	0,096	0,051	0,080
18:1 10 <i>t</i>	0,126	0,201	0,105	0,167
18:1 11 <i>t</i>	0,367	0,124	0,305	0,103
LA	0,584	-0,033	0,486	-0,027
ALA	0,131	0,121	0,109	0,101
EPA	0,012	0,005	0,010	0,004
DPA	0,019	0,000	0,016	0,000
DHA	0,007	-0,005	0,006	-0,004

1) REF : Consommation des groupes d'AG (g/j) avant introduction des graines de lin (LIN) dans l'alimentation.

2) AGS = somme des AG saturés. *trans* totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison *trans*. Somme 12:0-16:0 = somme des AGS pairs de 12 à 16 atomes de C. *cis* AGMI = somme des AGMI de configuration *cis*. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf. tableaux 18 et 19.

Les effets de rations riches en amidon (simulées par l'utilisation de rations contenant soit au moins 40 % d'ensilage de maïs, soit au moins 60 % de concentré) et supplémentées en MG sont présentés au tableau 78 pour la population adulte et celle des enfants.

**Tableau 78 : Effet des rations riches en amidon (riches en ensilage de maïs ou en aliments concentrés) et supplémentées en lipides chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française<sup>1,2,3</sup>**

Hypothèses: Adoption de rations soit riches en ensilage de maïs et supplémentées en lipides (EM+LIP) ou riches en aliments concentrés et supplémentées en lipides (C+LIP) par 20 % des éleveurs durant l'alimentation hivernale.

Population	Adultes			Enfants (3-14 ans)		
	REF	EM+LIP	C+LIP	REF	EM+LIP	C+LIP
AGS	16,014	-0,420	-0,612	13,347	-0,350	-0,510
Somme 12:0-16:0	11,065	-0,485	-0,484	9,222	-0,404	-0,404
12:0	0,934	-0,051	-0,064	0,778	-0,042	-0,053
14:0	2,848	-0,117	-0,103	2,374	-0,097	-0,086
16:0	7,284	-0,317	-0,317	6,070	-0,265	-0,265
18:0	2,241	+0,168	+0,107	1,868	+0,140	+0,089
cis AGMI	5,416	+0,154	+0,028	4,514	+0,128	+0,023
trans totaux	0,724	+0,177	+0,504	0,603	+0,148	+0,420
CLA totaux	0,163	+0,014	+0,063	0,136	+0,011	+0,053
AG trans totaux hors CLA	0,561	+0,163	+0,441	0,467	+0,137	+0,367
18:2 9c,11t	0,133	+0,018	+0,051	0,111	+0,015	+0,043
18:2 10t,12c	0,005	0,000	+0,002	0,004	+0,000	+0,001
18:1 9t	0,061	+0,012	+0,024	0,051	+0,010	+0,020
18:1 10t	0,126	+0,152	+0,292	0,105	+0,127	+0,244
18:1 11t	0,367	+0,062	+0,109	0,305	+0,052	+0,091
LA	0,584	-0,007	+0,037	0,486	-0,006	+0,031
ALA	0,131	-0,003	+0,012	0,109	-0,003	+0,010

1) REF : Consommation des groupes d'AG (g/j) avant adoption de rations riches en amidon [EM+LIP, à base d'ensilage de maïs (EM > 40 % de la matière sèche ingérée)] ou riches en concentré (C+LIP, % Conc > 60 % de la matière sèche ingérée) et supplémentées par des graines ou des huiles d'oléo-protéagineux.

2) AGS = somme des AG saturés. trans totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison trans. Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. cis AGMI = somme des AGMI de configuration cis. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf. tableau 22.

Dans ces deux populations, la consommation d'AGS est fortement réduite par l'utilisation de ce type de ration (- 0,35 g/j à - 0,61 g/j), soit une baisse de - 1 à - 1,5 % de la consommation moyenne totale des AGS pour ces deux populations. Cette réduction est essentiellement due à celle des AG 12:0 (- 40 à - 65 mg/j), 14:0 (- 80 à - 120 mg/j) et 16:0 (- 260 à - 320 mg/j), soit - 400 à - 480 mg/j environ des AGS 12:0 à 16:0, partiellement compensée par l'accroissement du 18:0 (+ 90 à + 170 mg/j). La consommation d'AG trans totaux est également accrue de + 150 à + 180 mg/j pour les rations à base d'ensilage de maïs et de 400 à 500 mg/j pour les rations riches en concentrés ce qui est essentiellement dû à l'accroissement de la consommation de l'isomère 10t (+ 130 à + 290 mg/j) et plus marginalement de l'isomère 18:1 9t. L'augmentation de la consommation d'AG trans totaux hors CLA est de + 140 mg/j et + 160 mg/j pour les rations à base d'ensilage de maïs et de + 370 et + 440 mg/j pour les rations riches en concentrés, dans les populations des adultes et

des enfants, respectivement, soit dans les deux populations une augmentation de + 5 % (ensilage de maïs) et + 14 % (concentrés) de la consommation moyenne de ces AG, toutes origines confondues. La consommation des CLA est accrue de + 10 à + 15 mg/j lorsque la supplémentation s'effectue sur des rations à base d'ensilage de maïs mais elle est plus prononcée avec les rations à base de concentrés (comprise entre + 50 à + 65 mg/j pour les CLA totaux, dont 40 à 50 mg de 18:2 9c,11t) qui représente dans les deux populations considérées, une augmentation de la consommation moyenne totale des CLA totaux de l'ordre de + 8 % (+ 11 % pour le 18:2 9c,11t) et + 35 % (+ 32 % pour le 18:2 9c,11t) dans les cas, respectivement, de l'ensilage de maïs et des concentrés. Les variations de consommation de LA et ALA sont peu importantes.

**Conclusion.** L'apport de graines d'oléo-protéagineux permet de réduire les quantités consommées d'AGS, réduction plus marquée pour le 16:0. Cette réduction peut être considérée comme intéressante dans la mesure où cet AGS fait partie du sous-groupe des AGS « athérogènes en excès » pour lesquels les apports nutritionnels conseillés sont limités à moins de 8 % de l'AET. Néanmoins, ce type d'alimentation induit une augmentation de la consommation des AG *trans* totaux, à l'exception du cas de la graine de colza. La graine de lin et dans une moindre mesure la graine de colza, permettent d'accroître la consommation d'ALA. La consommation de lait issu de vaches laitières recevant toutes de la graine de lin (à un taux d'incorporation équivalent à 3,5 % d'huile) conduit à une forte réduction des AGS de près de 5 % de la consommation moyenne totale dans la population et à une augmentation de l'apport de l'ALA (5 % des ANC 2010). Par ailleurs, ces éléments s'accompagnent d'un accroissement important de la consommation de chacun des AG *trans*, notamment du 18:1 9t, 10t et du 18:2 10t,12c.

L'accroissement des AG *trans* totaux s'observe de façon plus marquée lors de la consommation de matières grasses laitières provenant de vaches alimentées à l'aide de rations contenant des proportions élevées de concentrés et supplémentées en lipides. Il faut néanmoins noter que la prise en compte de l'huile (et non des graines) d'oléo-protéagineux dans ces dernières simulations a pu amplifier l'effet sur les isomères 9t et 10t du 18:1 par rapport à des situations où seules les graines auraient été utilisées. Cependant, dans la pratique, ces rations supplémentées en huile présentent une probabilité limitée d'utilisation, ce qui minimise donc les effets observés de ce type d'alimentation.

Par ailleurs, faute de données quantitatives suffisantes, aucune des simulations réalisées n'intègre les autres isomères *trans* du 18:1 (13t notamment qui peut être accru avec le lin) ou les isomères *trans* non conjugués du 18:2 (9c,13t et 11t,15c notamment dont les variations peuvent être parfois importantes), isomères pour lesquels les effets chez l'Homme restent à évaluer de façon spécifique.

## 1.6. Effet de l'apport de CLA

L'effet des CLA dans l'alimentation des ruminants sur la consommation des groupes d'AG considérés a été étudié au travers des modifications du profil en AG du lait par l'apport de mélange d'isomères des CLA pour une dose journalière moyenne de 13,8 g ( $\pm$  8,9) de l'isomère 18:2 10t,12c. Néanmoins, peu d'essais ont été effectués sur des durées longues de lactation, ce qui peut constituer un biais dans une simulation effectuée sur une lactation entière. L'utilisation des CLA a été simulée chez des éleveurs ayant pour objectif de réduire le TB du lait et/ou d'accroître la production laitière. Une hypothèse de travail maximaliste de 25 % des éleveurs utilisant les CLA dans les 5 ans à venir pour au moins un de ces deux objectifs a été retenue ; compte tenu de l'évolution de la demande en produits laitiers, le pourcentage d'éleveurs utilisant les CLA afin d'accroître la production sur l'ensemble de la lactation a été fixé à 15 % et à 10 % pour ceux les utilisant afin de gérer la MG sur 3 mois de lactation. Une éventuelle réduction par les CLA de la consommation de MG laitières par

l'Homme n'a pas été intégrée du fait des processus de standardisation de la teneur en MG des laits par les industriels.

Sur une base annuelle, dans les différentes populations considérées, les variations de consommation quotidienne d'AG du lait issu de vaches recevant les CLA par rapport à du lait standard sont de faible amplitude (tableau 79).

**Tableau 79 : Effet de l'apport de mélanges d'isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA) chez les bovins laitiers sur la consommation d'AG d'origine laitière dans diverses catégories de la population française<sup>1,2,3</sup>**

Hypothèse : Apport moyen de 18:2 10*t*,12*c* = 13,8 ± 8,9 g/j et 18:2 9*c*,11*t* = 11,3 ± 6,4 g/j, chez l'équivalent de 17,5 % des éleveurs.

Population	Adultes		+ de 65 ans		Enfants (3-14 ans)	
	Témoin	CLA	Témoin	CLA	Témoin	CLA
AGS	14,300	-0,127	14,863	-0,132	11,918	-0,106
Somme 12:0-16:0	9,288	-0,134	9,654	-0,139	7,741	-0,112
12:0	0,552	-0,014	0,573	-0,014	0,460	-0,011
14:0	2,038	-0,027	2,119	-0,028	1,699	-0,022
16:0	6,698	-0,094	6,962	-0,098	5,582	-0,078
18:0	2,771	+0,044	2,880	+0,045	2,309	+0,036
<i>cis</i> AGMI	6,275	+0,064	6,522	+0,066	5,229	+0,053
<i>trans</i> totaux	0,894	+0,042	0,930	+0,043	0,745	+0,035
CLA totaux	0,125	+0,021	0,129	+0,022	0,104	+0,017
AG <i>trans</i> totaux hors CLA	0,769	+0,021	0,801	+0,021	0,641	+0,018
18:2 9 <i>c</i> ,11 <i>t</i>	0,111	+0,005	0,116	+0,005	0,093	+0,004
18:2 10 <i>t</i> ,12 <i>c</i>	0,002	+0,003	0,002	+0,003	0,002	+0,003
18:1 9 <i>t</i>	0,081	+0,002	0,085	+0,002	0,068	+0,002
18:1 10 <i>t</i>	0,118	+0,007	0,123	+0,007	0,099	+0,005
18:1 11 <i>t</i>	0,335	+0,004	0,348	+0,004	0,279	+0,003
LA	0,751	+0,017	0,781	+0,017	0,626	+0,014
ALA	0,116	+0,003	0,121	+0,003	0,097	+0,002

1) Témoin : Consommation des groupes d'AG (g/j) avant tout apport de CLA. CLA : variation de consommation (g/j) des différents AG par rapport à celle de la population « Témoin ». L'utilisation des CLA a été simulée chez des éleveurs ayant pour objectif de réduire le TB du lait et/ou accroître la production laitière. Une hypothèse de travail maximaliste de 25 % des éleveurs utilisant les CLA pour au moins un de ces deux objectifs a été retenue ; compte tenu de l'évolution de la demande en produits laitiers, le pourcentage d'éleveurs utilisant les CLA afin d'accroître la production sur l'ensemble de la lactation a été fixé à 15 %, et à 10 % pour ceux les utilisant afin de gérer la matière grasse sur 3 mois de lactation. Ceci correspond à 17,5% des éleveurs en moyenne.

2) AGS = somme des AG saturés. *trans* totaux = somme de tous les AG ayant au moins une liaison *trans*. Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. *cis* AGMI = somme des AMI de configuration *cis*. CLA totaux = ensemble des CLA.

3) Source : cf tableau 25.

L'apport de CLA fait varier la consommation totale d'AGS de - 100 à - 130 mg/j selon la classe de population considérée, ce qui peut être considéré comme négligeable puisque représentant moins de 0,3 % de la consommation totale de ces AG, toutes origines confondues. Cette réduction est essentiellement liée à celle du 16:0 (- 80 à - 100 mg/j en

moyenne). Inversement, la consommation d'AG *trans* totaux dans la population adulte est accrue de + 35 à + 45 mg/j, reflétant l'augmentation de l'ensemble des isomères des CLA (+ 17 à + 22 mg/j) et celle plus faible des isomères 9*t*, 10*t* et 11*t* du 18:1. L'incidence de l'accroissement de la consommation des AG *trans* totaux hors CLA sur la consommation moyenne totale de ces AG, toutes origines confondues, est faible puisqu'elle se situe entre + 0,6 et + 0,7 %. L'accroissement de consommation des CLA, ou de chacun des deux isomères, 18:2 10*t*,12*c* et 18:2 9*c*,11*t* dans toutes les classes de population est faible puisque celui-ci n'entraîne pas d'augmentation de la consommation totale de ces AG, toutes origines confondues, supérieure à 15 %.

**Conclusion.** Les variations de consommation des différents AG sous l'effet des CLA restent de faible ampleur dans toutes les catégories de la population pour une consommation moyenne de lipides laitiers. Les variations simulées constituent par ailleurs des surestimations des effets des CLA puisque les doses utilisées en pratique (comprises entre 2 et 5 g/j) sont très inférieures à celles utilisées dans cette simulation. De plus, dans les conditions actuelles de forte demande en produits laitiers et en matière grasse et de probable suppression des quotas laitiers, l'utilisation des CLA semble aujourd'hui ne devoir se limiter qu'à une faible fraction d'éleveurs. Dans les conditions de la simulation, l'apport de ce mélange de CLA ne semble pas présenter pour le consommateur de conséquences potentielles en termes d'apports nutritionnels, même si l'augmentation de la consommation des AG *trans* totaux doit être considérée avec réserve. Par ailleurs, il est nécessaire de pondérer ces conclusions puisque dans certaines publications, l'apport de CLA aux bovins s'accompagne d'un accroissement d'autres isomères que le 18:2 10*t*,12*c* et le 18:2 9*c*,11*t*, isomères dont les effets biologiques chez l'Homme n'ont pas encore été explorés séparément de manière systématique.

## 2. La viande de porc

L'évolution de la teneur en AG n-3 des lipides de la viande de porc peut être estimée à partir des équations du tableau 61. Par ailleurs, les données INCA1 indiquent que la consommation quotidienne de lipides apportés par la viande de porc est de l'ordre de 11,58 g pour l'ensemble de la population adulte, de 9,09 g/j chez les personnes de plus de 60 ans, et de 8,39 g pour l'ensemble des enfants. La consommation actuelle en divers AG par ces catégories de population est présentée dans le tableau 80.

**Tableau 80 : Consommations actuelles moyennes de différents AG (mg/jour) de la viande de porc standard par l'Homme adulte et l'enfant.**

Population	Adultes	+ de 65 ans	Enfants
AGS	3675	2882	2650
14:0	117	92	85
16:0	2261	1773	1630
18:0	1297	1017	935
<i>cis</i> AGMI	3930	3082	2834
LA	1408	1104	1015
ALA	74	58	54
EPA	3	3	2
DPA	10	8	7
DHA	3	3	2

Il est possible de déterminer l'impact du remplacement de l'huile de palme ou de coprah des régimes, actuellement utilisées dans la pratique (correspondant à une teneur d'environ 1 g d'ALA/kg d'aliment), par une source lipidique riche en ALA sur la consommation en divers AG de ces catégories de consommateurs.

Deux sources lipidiques ont été envisagées : MG apportée par l'huile ou la graine de lin ou de colza. L'apport de lipides dans l'aliment est le même dans tous les cas et il est obtenu par l'incorporation de 1,5 % d'huile ou de 3 % de graines riches en matières grasses. La teneur en ALA de l'aliment passe à environ 5 g/kg dans le cas du lin et à 1,8 g/kg dans le cas du colza, au lieu de 0,8 à 1 g/kg dans les aliments standard.

La consommation par le porc d'un aliment enrichi en n-3 a des conséquences sur l'ensemble des AG consommés par l'Homme. Quelle que soit la catégorie de consommateurs considérée, l'évolution relative est la même pour une source de lipides donnée.

## 2.1. Cas du lin

### 2.1.1. Population adulte

Dans le cas des produits issus d'un élevage où l'huile incorporée est constituée en totalité par des lipides issus du lin sous forme d'huile ou de graines (5 g d'ALA/kg d'aliment ; tableau 81), les apports en AGS sont augmentés de 88 mg/j.

**Tableau 81 : Evolution de la consommation d'AG en substituant la source de matière grasse témoin actuellement utilisée en élevage (palme ou coprah) par de la matière issue de graine ou d'huile de lin ou par de l'huile de colza.**

	Introduction d'huile ou de graine de lin			Introduction d'huile ou de graine de colza		
	Adultes	+ de 65 ans	Enfants	Adultes	+ de 65 ans	Enfants
<b>Consommation estimée (mg AG/j)</b>						
AGS	3763	2951	2713	3722	2918	2684
14:0	108	85	78	108	85	78
16:0	2279	1787	1643	2265	1776	1633
18:0	1376	1079	992	1349	1058	973
<i>cis</i> AGMI	3824	2999	2757	3994	3131	2880
LA	1110	870	800	1237	970	892
ALA	366	287	264	142	111	102
EPA	11	9	8	6	5	4
DPA	22	18	16	16	13	12
DHA	5	4	3	4	3	3
<b>Variation de consommation (mg AG/j)</b>						
AGS	88	69	63	47	37	34
14:0	-10	-7	-7	-9	-7	-7
16:0	18	14	13	4	3	3
18:0	80	63	58	53	41	38
<i>cis</i> AGMI	-106	-83	-77	63	50	46
LA	-298	-234	-215	-171	-134	-123
ALA	292	229	210	68	53	49
EPA	8	6	6	2	2	2
DPA	12	10	9	6	5	4
DHA	1	1	1	1	1	1

Cette valeur influence très peu l'apport total en AGS dans la ration et comme il a été mentionné plus haut, l'accroissement n'est pas retrouvé dans toutes les études. L'apport d'AGMI est légèrement diminué. Par ailleurs, on observe une réduction de près de 300 mg/j de la consommation de LA et une augmentation de 292 mg/j de la consommation d'ALA (366 contre 74 mg/j). Ce dernier élément est le plus significatif, l'augmentation de l'apport d'ALA permettant de couvrir environ 13 % de plus des ANC de l'adulte et de l'enfant de plus de 10 ans (Afssa, 2010 a) alors que la consommation moyenne en ALA dans la population française est insuffisante. Ainsi, le taux de couverture d'ALA passe de 3,4 à plus de 16 % des ANC chez l'Homme adulte. Elle permet également un apport supplémentaire de 9 mg/j d'EPA+DHA (ANC de 0,5 g/j chez l'adulte). Cependant, cette augmentation de l'apport de DHA et d'EPA n'est que de 1 et 8 mg/j respectivement, soit environ 0,4 et 3,2 % des ANC (Afssa, 2010 a). Cette valeur peut être majorée par la possible conversion de l'EPA et du DPA en DHA mais cette dernière ne concernerait qu'environ 10 % de ces deux AG (Plourde et Cunnane, 2007). Le bénéfice en EPA et DHA est donc modeste.

Il reste à noter que ces effets sont le reflet d'une estimation moyenne intégrant l'ensemble des produits dérivés du porc, avec des teneurs en lipides allant de 2 à 30 %.

En ce qui concerne les personnes âgées de 65 ans et plus, les effets ne diffèrent pas de ceux qui sont constatés sur la population générale adulte.

### 2.1.2. Population d'enfants

Chez les enfants, la situation est identique à celle des adultes, avec un apport supplémentaire d'ALA de 210 mg/j dans la population totale (enfants de 3 à 14 ans).

## 2.2. Cas du colza

### 2.2.1. Population adulte

L'augmentation de l'apport en AGS est plus faible qu'avec les lipides du lin (+ 47 mg/j). Le bénéfice sur la diminution de LA (- 171 mg/j) et l'augmentation de l'ALA (+ 68 mg/j) est plus modeste [soit 3,1% de l'ANC (Afssa, 2010 a)], tout comme le bénéfice sur les AGPI-LC (+ 1 mg/j).

Le cas des personnes de 65 ans et plus n'appelle pas de commentaires particuliers par rapport à la population générale adulte.

### 2.2.2. Population d'enfants

La situation est à peu près identique à celle des adultes, avec un apport d'ALA augmenté seulement de 49 mg/j et donc des effets encore plus limités. Pour les enfants, les effets sont du même ordre de grandeur (augmentation de 59 mg/j d'ALA).

**Conclusion.** L'apport de graines de colza n'apporte qu'un bénéfice modeste vis à vis des ANC. Par contre, avec l'apport de lin, on observe une amélioration intéressante de la couverture en ALA. Celle-ci est augmentée d'environ 13 % par rapport à la situation de référence.

Des études destinées à augmenter la biodisponibilité des AG n-3 et à les préserver par l'incorporation d'antioxydants végétaux sont poursuivies actuellement. De nouveaux processus de préparation et d'extrusion des graines de lin sont en cours de développement. La digestibilité de ces matières premières est encore augmentée par rapport aux graines utilisées actuellement (Noblet *et al.*, 2008). On peut donc penser qu'à l'avenir, pour une

même teneur en ALA de l'aliment, l'efficacité du dépôt d'AG n-3 sera accrue, allant dans le sens d'une augmentation de la teneur en n-3 de la viande.

### 3. La viande bovine

#### 3.1. Variations de la composition en AG des denrées

Le calcul des apports d'AG de la viande bovine utilise les données acquises sur la bavette de flanchet considérée pour sa composition en AG comme représentative des viandes consommées en France. Les apports journaliers en lipides totaux d'origine « viande bovine » étaient de 4896 mg/j pour l'Homme adulte et de 5241 mg/j pour l'enfant, selon les données de l'enquête INCA 1.

Les compositions en différents AG de la viande bovine intègrent la nature des rations les plus utilisées en France par les différents types de bovins (vache de réforme, bœuf et génisse, taurillon) en distinguant les périodes estivale et hivernale et en tenant compte de l'importance relative de leur contribution à l'offre de la viande bovine pour la consommation en France.

Le tableau 82 présente la variation de l'apport en différents AG par la viande de bovin à l'engraissement recevant les rations les plus couramment utilisées en France ou les mêmes rations supplémentées en graines oléagineuses extrudées (apportant 4 % d'huile) riches en LA (tournesol) ou en ALA (lin) employées actuellement par certains élevages français (principalement graines de lin). Cette variation d'apport d'AG est théorique : elle correspond à l'hypothèse de la consommation d'une de ces rations par tous les bovins en France (100 % d'adoption de cette ration en élevage).

**Tableau 82 : Apport (en mg/j) en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de l'emploi pour tous les bovins viande d'une ration à base d'herbe uniquement ou dans le cas d'un emploi généralisé de chaque ration majeure supplémentée ou non en graines oléagineuses extrudées (lin, tournesol).**

Nature des rations distribuées aux bovins	Herbe (100%)	Conc/paille (70/30)	Conc/paille + graine de lin* (4% huile)	EM/Conc 65/35	EM/Conc + graine de lin* (4% huile)	Conc/Foin 70/30	Conc/Foin + graines de lin** (4% huile)	Conc/Foin + graines de tournesol. (4% huile)
Somme 12:0-16:0	1325	1193	1091	1400	1219	1335	1269	1796
12:0	5	4	4	5	5	4	4	4
14:0	143	112	113	137	118	122	110	353
16:0	1177	1077	974	1258	1096	1209	1155	1439
18:0	608	690	847	774	871	871	793	548
18:1 9t+10t+11t+12t	270	259	259	98	122	181	186	nd
CLA totaux	40	49	44	34	39	20	34	nd
18:2 9c,11t	36	40	38	28	32	17	27	nd
LA	186	431	421	284	357	308	235	387
ALA	69	54	176	34	181	49	73	25
EPA	30	24	25	20	25	34	20	15
DPA	39	49	54	49	64	44	40	15
DHA	5	5	5	5	10	10	10	5

Concentré /paille (C/P)= Aliment concentré (70 %) et paille traitée (30 %) ; EM/Conc. = Ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %) ; Conc/ Foin = Aliment concentré (70 %) et foin (30 %).

Graines de lin faiblement extrudées\* (cas du Conc/Paille+ graines de lin et EM/C +graines de lin) ou fortement extrudées\*\* (cas du C/F + graines de lin).

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

Le tableau 83 présente pour la vache de réforme la variation de l'apport en différents AG par la viande de bovin à l'engraissement recevant les rations les plus couramment utilisées en France pour ce type de production très majoritaire (75 %). Pour la période estivale, ces animaux reçoivent pour 60 % de l'effectif exclusivement de l'herbe verte (pâturage) et pour 40 % le mélange aliment concentré/foin. Pour la période hivernale, 60 % des vaches de réforme reçoivent une ration à base d'ensilage de maïs et d'aliment concentré et 40 % une ration à base d'aliment concentré et de foin.

Les données fournissent le détail des apports en AG par la viande pour chaque type de ration consommée [herbe, ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %), aliment concentré (70 %) et foin (30 %)] et les apports pour les périodes estivale et hivernale intégrant en proportion les systèmes d'alimentation utilisés en France pour ce type d'animaux.

**Tableau 83 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue de la vache de réforme recevant les rations majoritairement consommées en France en période estivale ou hivernale.**

Vaches de réforme	Régime été			Régime hiver			
	Nature des rations distribuées aux bovins	Herbe 60 %	Conc/Foin 40 %	Régime été	EM/Conc 60 %	Conc/Foin 40 %	Régime hiver
Somme 12:0-16:0		793,6	558,4	1352	588,4	558,4	1146,8
12:0		3,0	1,6	4,6	3,0	1,6	4,6
14:0		85,6	73,2	158,8	82,2	73,2	155,4
16:0		705	483,6	1188,6	503,2	483,6	986,8
18:0		364,2	348,4	712,6	464,4	348,4	812,8
18:1 9t+10t+11t+12t		161,4	164,3	325,7	58,8	164,3	223,1
CLA totaux		24,0	8,0	32,0	20,4	8,0	28,4
18:2 9c,11t		21,6	7,2	28,8	18,4	7,2	25,6
LA		111,6	123,2	234,8	170,4	123,2	293,6
ALA		41,4	19,6	61,0	9,0	19,6	28,6
EPA		17,4	13,6	31,0	12,0	13,6	25,6
DPA		23,4	17,6	41,0	29,4	17,6	47,0
DHA		3,0	4,0	7,0	3,0	4,0	7,0

EM/Conc. = Ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %) ; Conc/Foin = Aliment concentré (70 %) et foin (30 %).

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C

Le tableau 84 présente pour le système de production "bœuf et génisse" la variation de l'apport en différents AG par la viande des animaux recevant les rations les plus couramment utilisées en France pour ce type de production plus minoritaire (20 %). Pour la période estivale, ces animaux reçoivent pour 40 % de l'effectif exclusivement de l'herbe verte (pâturage) et pour 60 % le mélange aliment concentré/foin. Pour la période hivernale, 50 % des bœufs et génisses reçoivent une ration à base d'ensilage de maïs et d'aliment concentré et 50 % une ration à base d'aliment concentré et de foin.

Les données fournissent le détail des apports en AG par la viande pour chaque type de ration consommée [herbe, ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %), aliment concentré (70 %) et foin (30 %)] et les apports pour les périodes estivale et hivernale intégrant en proportion les systèmes d'alimentation utilisés en France pour ce type d'animaux.

**Tableau 84 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour: 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue de bœufs et de génisses recevant les rations majoritairement consommées en France en période estivale ou hivernale.**

Bœuf et génisse Nature des rations distribuées aux bovins	Régime été			Régime hiver		
	Herbe 40 %	Conc/Foin 60 %	Régime Eté	EM/Conc 50 %	Conc/Foin 50 %	Régime Hiver
Somme 12:0-16:0	528,8	801	1329,8	700	667,5	1367,5
12:0	2,0	2,4	4,4	2,5	2,0	4,5
14:0	56,8	73,2	130,0	68,5	61,0	129,5
16:0	470	725,4	1195,4	629,0	604,5	1233,5
18:0	242,8	522,6	765,4	387,0	435,5	822,5
18:1 9t+10t+11t+12t	107,6	108,6	216,2	49,0	90,5	139,5
CLA totaux	16,0	12,0	28,0	17,0	10,0	27,0
18:2 9c,11t	14,4	10,8	25,2	15,3	9,0	24,3
LA	74,4	184,8	259,2	142,0	154,0	296,0
ALA	27,6	29,4	57,0	7,5	24,5	32,0
EPA	11,6	20,4	32,0	10	17,0	27,0
DPA	15,6	26,4	42,0	24,5	22,0	46,5
DHA	2,0	6,0	8,0	2,5	5,0	7,5

EM/Conc. = Ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %) ; Conc/Foin = Aliment concentré (70 %) et foin (30 %).

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

Le tableau 85 présente pour le système de production de taurillon (jeune bovin entier) la variation de l'apport en différents AG par la viande des animaux recevant les rations les plus couramment utilisées en France pour ce type de production très minoritaire (5 %).

Le système d'alimentation des taurillons ne varie pas au cours des saisons mais dépend principalement de la race élevée. Pour le taurillon Charolais, la ration est composée pour 50 % de l'effectif de type ensilage de maïs (65 %) + aliment concentré (35 %) soit, pour 50 % par de l'aliment concentré (70 %) et du foin (30 %). Dans le cas du taurillon de race Blonde d'Aquitaine, la ration est exclusivement à base d'aliment concentré (70 %) et de paille (30 %). En final, les apports en AG sont fournis en intégrant les données issues des traitements moyens pour les deux races au prorata de leur effectif en France, soit 70 % pour le taurillon Charolais et 30 % pour le taurillon Blonde d'Aquitaine.

**Tableau 85 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue du taurillon (jeune bovin) recevant les rations majoritairement consommées en France.**

Taurillon (toutes saisons)	Charolais			Blonde d'Aquitaine	Charolais 70 % + Blonde d'Aquitaine 30 %
	EM/Conc 50 %	Conc/Foin 50 %	Traitement moyen		
Nature des rations distribuées aux bovins				Conc/Paille 100 %	Traitement moyen
Somme 12:0-16:0	700	667,5	1367,5	1193	1315,6
12:0	2,5	2,0	4,5	4,0	4,6
14:0	68,5	61,0	129,5	112,0	124,4
16:0	629,0	604,5	1233,5	1077,0	1186,6
18:0	387,0	435,5	822,5	690	782,8
18:1 9t+10t+11t+12t	49,0	90,5	139,5	259,0	175,4
CLA totaux	17,0	10,0	27,0	49,0	33,6
18:2 9c,11t	15,3	9,0	24,3	40,0	29,0
LA	142,0	154,0	296,0	431	336,5
ALA	7,5	24,5	32,0	54	38,6
EPA	10	17,0	27,0	24	26,1
DPA	24,5	22,0	46,5	49	47,3
DHA	2,5	5,0	7,5	5	6,8

Concentré/paille (C/P)= Aliment concentré (70 %) et paille traitée (30 %) ; EM/Conc. = Ensilage de maïs (65 %) et aliment concentré (35 %) ; Conc/Foin = Aliment concentré (70 %) et foin (30 %)

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

**Tableau 86 : Apport en AG de la viande bovine pour la population totale des humains adultes (AG totaux consommés par jour : 4896 mg/j) dans le cas de la consommation exclusive de viande issue du taurillon (jeune bovin) de type charolais recevant 100 % d'ensilage de maïs et d'aliment concentré et de type Blonde d'Aquitaine recevant 100 % d'aliment concentré et paille.**

Taurillon (toutes saisons)	Charolais	Blonde d'Aquitaine	Charolais 70 % + Blonde d'Aquitaine 30 %
Nature des rations distribuées aux bovins	EM/C 100%	Conc/Paille 100%	Traitement moyen
Somme 12:0-16:0	1400	1193	1339
12:0	5	4	5
14:0	137	112	130
16:0	1258	1077	1204
18:0	774	690	749
18:1 9t+10t+11t+12t	98	259	146
CLA totaux	34	49	39
CLA 9c,11t	28	40	32
LA	284	431	328
ALA	34	54	10
EPA	20	24	21
DPA	49	49	49
DHA	5	5	5

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

Le tableau 87 présente les données d'apport (quantité en mg/j et composition centésimale) en AG de la viande bovine pour l'Homme adulte pour la production de viande en période estivale intégrant au prorata du niveau de production les caractéristiques des viandes de la vache de réforme (65 %), du bœuf et de la génisse (20 %) et le taurillon (15 %).

**Tableau 87 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux : 4896 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en période estivale (situation la plus fréquente).**

Nature des rations distribuées aux bovins	Vache de réforme 65 % Régime été	Boeuf et génisse 20 % Régime été	Taurillon (jeune bovin) 15 % Régime été	Apport moyen en AG par la viande bovine en été (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en été (%)
Somme 12:0-16:0	882,3	266,0	197,1	1344,8	27,47
12:0	3,1	0,9	0,6	4,6	0,09
14:0	103,6	26,0	18,6	148,2	3,03
16:0	775,6	239,1	177,9	1192,0	24,35
18:0	465,0	153,1	117,3	735,4	15,02
18:1 9t+10t+11t+12t	212,5	43,2	26,4	282,1	5,76
CLA totaux	20,9	5,6	5,1	31,6	0,65
CLA 9c,11t	18,8	5,0	4,5	28,3	0,58
LA	153,2	51,9	50,4	255,5	5,22
ALA	39,8	11,4	5,7	56,9	1,16
EPA	20,3	6,4	3,9	30,6	0,63
DPA	26,8	8,4	7,2	42,4	0,87
DHA	4,6	1,6	0,9	7,1	0,15

*Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.*

Le tableau 88 présente les données d'apport (quantité en mg/j et composition centésimale) en AG de la viande bovine pour l'Homme adulte pour la production de viande en période hivernale intégrant au prorata du niveau de production les caractéristiques des viandes de la vache de réforme (65 %), du bœuf et de la génisse (20 %) et le taurillon (15 %).

**Tableau 88 : Apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des humains adultes (AG totaux : 4896mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en période hivernale.**

Nature des rations distribuées aux bovins	Vache de réforme 65% Rég. hiver	Bœuf et génisse 20% Rég. hiver	Taurillon (jeune bovin) 15% Rég. hiver	Apport moyen en AG par la viande bovine en hiver (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en hiver (%)
Somme 12:0-16:0	748,4	273,5	197,1	1219,0	24,89
12:0	3,1	0,9	0,6	4,6	0,09
14:0	101,4	25,9	18,6	145,9	3,0
16:0	643,9	246,7	177,9	1068,5	21,80
18:0	530,4	164,5	117,3	812,2	16,59
18:1 9t+10t+11t+12t	145,6	27,9	26,4	199,9	4,08
CLA totaux	18,5	5,4	5,1	29,0	0,59
CLA 9c,11t	16,7	4,9	4,5	26,1	0,53
LA	191,6	59,2	50,4	301,2	6,15
ALA	18,7	6,4	5,7	30,8	0,63
EPA	16,7	5,4	3,9	26,0	0,53
DPA	30,7	9,3	7,2	47,2	0,96
DHA	4,6	1,5	0,9	7,0	0,14

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

Le tableau 89 présente la synthèse des données d'apport (quantité en mg/j et composition centésimale) d'AG de la viande bovine pour la population totale adulte pour la production de viande en périodes estivale et hivernale intégrant au prorata du niveau de production les caractéristiques des viandes de la vache de réforme (65 %), du bœuf et de la génisse (20 %) et le taurillon (15 %).

**Tableau 89 : Récapitulatif des caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des adultes (AG totaux : 4896 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale.**

	Apport moyen en AG par la viande bovine en été (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en été (%)	Apport moyen en AG par la viande bovine en hiver (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en hiver (%)
Somme 12:0-16:0	1344,8	27,47	1219,0	24,89
12:0	4,6	0,09	4,6	0,09
14:0	148,2	3,03	145,9	3,0
16:0	1192,0	24,35	1068,5	21,80
18:0	735,4	15,02	812,2	16,59
18:1 9t+10t+11t+12t	282,1	5,76	199,9	4,08
CLA totaux	31,6	0,65	29,0	0,59
CLA 9c,11t	28,3	0,58	26,1	0,53
LA	255,5	5,22	301,2	6,15
ALA	56,9	1,16	30,8	0,63
EPA	30,6	0,63	26,0	0,53
DPA	42,4	0,87	47,2	0,96
DHA	7,1	0,15	7,0	0,14

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

**Tableau 90 : Variation journalière d'AG consommés par les adultes (mg/j) apportés par la viande de bovins alimentés avec différents types de rations sous l'hypothèse d'une adoption de ces rations par 100 % des éleveurs, par rapport aux données d'apport moyen d'AG en période d'été ou d'hiver (différence des valeurs mesurées entre deux types de conduite alimentaire).**

	Différence des quantités en AG consommés (mg/j)				
	AGS	AG trans totaux (hors CLA)	CLA totaux	LA	ALA
Rég. Eté (vs. Régime Hiver)	+ 48,7	+ 82,2	+ 2,6	- 45,7	+ 26,1
Rég. 100% Herbe					
vs. Régime Eté	- 147,6	- 12,1	+ 8,4	- 69,5	+ 12,1
vs. Régime Hiver	- 98,3	+ 70,1	+ 11,0	- 115,2	+ 38,2
Rég. Concentré/Paille					
vs. Régime Eté	- 197,6	-23,1	+ 17,4	+ 175,5	- 2,9
vs. Régime Hiver	- 148,3	+ 59,1	+ 20,0	+ 129,8	+ 23,2
Rég. Concentré/Paille + graines de lin <sup>1</sup> (4 % huile)					
vs. Régime Eté	- 142,6	- 23,1	- 12,4	+ 165,5	+ 119,1
vs. Régime Hiver	- 93,3	+ 59,1	+ 9,0	+ 119,8	+ 145,2
Rég. Ensilage Maïs/Concentré					
vs. Régime Eté	- 93,4	- 184,1	+ 2,4	+ 28,5	- 22,9
vs. Régime Hiver	+ 142,7	- 101,9	+ 5,0	- 17,2	+ 3,2
Rég. Ensilage Maïs+Concentré + graines de lin <sup>1</sup> (4 % huile)					
vs. Régime Eté	+ 9,4	- 160,1	+ 7,4	+ 101,5	+ 124,1
vs. Régime Hiver	+ 58,7	- 77,9	+ 10,0	+ 55,8	+ 150,2
Rég. Concentré / Foin					
vs. Régime Eté	+ 125,4	- 101,1	- 11,6	+ 52,5	- 7,9
vs. Régime Hiver	+ 174,7	- 18,9	- 9,0	+ 6,8	+ 18,2
Rég. Concentré / Foin + graines de lin <sup>2</sup> (4 % huile)					
vs. Régime Eté	- 18,6	- 96,1	+ 2,4	- 20,5	+ 16,1
vs. Régime Hiver	+ 30,7	- 13,9	+ 5,0	- 66,2	+ 42,2
Rég. Concentré/Foin + graines de tournesol (4 % huile)					
vs. Régime Eté	+ 263,4	nd	nd	+ 131,5	- 31,9
vs. Régime Hiver	+ 312,7	nd	nd	+ 85,8	- 5,8

<sup>1</sup>Graines de lin faiblement extrudées réduisant l'hydrogénation ruminale des AGPI

<sup>2</sup>Graines de lin fortement extrudées favorisant l'hydrogénation ruminale des AGPI

Les tableaux 90 à 92 présentent la synthèse des données d'apport (quantité en mg/j et composition centésimale) en AG de la viande bovine pour l'ensemble de la population

adulte, pour les adultes âgés de plus de 65 ans et les enfants, la production de viande correspondant aux périodes estivale et hivernale intégrant au prorata du niveau de production les caractéristiques des viandes de la vache de réforme (65 %), du bœuf et de la génisse (20 %) et du taurillon (15 %).

**Tableau 91 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population des adultes âgés de plus de 65 ans (AG totaux : 3309 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale.**

	Apport moyen en AG par la viande bovine en été (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en été (%)	Apport moyen en AG par la viande bovine en hiver (mg/j)	Composition. moyenne en AG de la viande bovine en hiver (%)
Somme 12:0-16:0	906,5	27,47	821,8	24,89
12:0	3,1	0,09	3,1	0,09
14:0	99,9	3,03	98,4	3,0
16:0	803,5	24,35	720,3	21,80
18:0	495,8	15,02	547,6	16,59
18:1 9t+10t+11t+12t	190,2	5,76	134,8	4,08
CLA totaux	21,3	0,65	19,6	0,59
CLA 9c,11t	19,1	0,58	17,6	0,53
LA	172,2	5,22	203,1	6,15
ALA	38,4	1,16	20,8	0,63
EPA	20,6	0,63	17,5	0,53
DPA	28,6	0,87	31,8	0,96
DHA	4,8	0,15	4,8	0,14

*Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.*

**Tableau 92 : Caractéristiques des apports en AG (quantité et composition centésimale) de la viande bovine pour la population totale des enfants (AG totaux : 5241 mg/j) issue des bovins (65 % de vaches de réforme, 20 % de bœufs et de génisses et 15 % de taurillons) alimentés en périodes estivale et hivernale.**

	Apport moyen en AG par la viande bovine en été (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en été (%)	Apport moyen en AG par la viande bovine en hiver (mg/j)	Composition moyenne en AG de la viande bovine en hiver (%)
Somme 12:0-16:0	1438,9	27,47	1304,3	24,89
12:0	4,9	0,09	4,9	0,09
14:0	158,6	3,03	156,1	3,0
16:0	1275,4	24,35	1143,3	21,80
18:0	786,9	15,02	869,1	16,59
18:1 9t+10t+11t+12t	301,8	5,76	213,9	4,08
CLA totaux	33,8	0,65	31,0	0,59
CLA 9c,11t	30,3	0,58	27,9	0,53
LA	273,3	5,22	322,3	6,15
ALA	60,9	1,16	33,0	0,63
EPA	32,7	0,63	27,8	0,53
DPA	45,4	0,87	50,5	0,96
DHA	7,60	0,15	7,5	0,14

*Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.*

### 3.2. Impact de ces variations sur l'apport nutritionnel chez l'Homme

A partir du tableau 82 qui résume différents profils en AG après différentes rations, on peut souligner que, vis à vis des ANC (Afssa, 2010 a) :

- l'apport en AGS varie entre 1,8 et 2,3 g/j, ce qui ne représente pas de variations importantes des apports journaliers,
- les apports en LA ne représentent jamais plus de 0,5 g/j soit environ 5,6 % des ANC (8,9 g/j sur la base de 2000 kCal),
- les apports en ALA représentent au maximum 181 mg/j (ration EM/Concentré + graine de lin), soit moins de 10 % des ANC,
- les apports en DHA ne dépassent pas 10 mg/j, soit moins de 5 % des ANC (Afssa, 2010 a). Toutefois, si on ajoute à cette valeur 10 % de la somme (EPA+DPA), on arriverait à pratiquement doubler cet « équivalent » d'apport par les viandes issues des rations EM/Concentré + graine de lin, et Concentré/Foin avec ou sans graine de lin.

Dans le cas des rations supplémentées en huile de tournesol, l'apport en LA est de l'ordre de 0,4 g/j soit 4,5 % de l'ANC pour l'Homme adulte.

**Conclusion.** Les rations à base de fourrages conservés supplémentées en graines de lin induisent des modifications modestes des apports en AG en termes de couverture des besoins (apports nutritionnels conseillés).

Concernant les taurillons pris dans leur ensemble, le levier n'est réaliste que sur la fraction « Charolais ». Pour autant, les différences dans l'apport au consommateur semblent marginales.

## 4. La viande de volailles

Les hypothèses retenues pour le calcul des quantités d'AG apportés par la viande de volailles sont basées sur les modèles d'alimentation aviaire les plus extrêmes susceptibles d'être rencontrés. La référence provient de poulets recevant un aliment comprenant des MG d'origine animale, riches en AGS (suif, graisses, ...) bien que cette pratique soit actuellement suspendue. Les données disponibles permettent d'examiner l'effet de la substitution dans la ration de 4 % de MG riches en AGS par la même proportion d'huile de lin ou par 5-7 % de graines de lin et cela dans l'hypothèse où la totalité des éleveurs en France adopte le changement de pratique d'alimentation considéré. Cette situation est théorique mais maximalise les effets attendus.

Les changements de pratiques d'alimentation ont été simulés exclusivement pour la viande de poulet. En effet, la contribution des autres viandes de volaille à l'apport en AG est faible (Palmipèdes) et certains produits issus de ces volailles sont très pauvres en MG (dinde, pintade). De plus, l'effet des changements de pratiques alimentaires chez ces espèces secondaires est très mal, voire non documenté.

Enfin, il a été considéré que la composition moyenne en AG des produits issus des volailles est proche de celle de la cuisse sans peau. Cette hypothèse maximise les apports en phospholipides au détriment des triglycérides présents dans le gras sous-cutané.

Les tableaux 93 et 94 compilent les simulations de l'impact de deux modifications de pratiques d'alimentation par l'ensemble de la filière avicole en France, pour un type de volaille et un type de viande de volaille, représentatifs de la production et de la consommation françaises. Le tableau 95 compile les variations observées pour les deux modifications de pratiques d'alimentation.

**Tableau 93 : Influence d'une incorporation d'huile de lin dans l'alimentation des volailles sur les apports quotidiens (mg/jour) en AG provenant des viandes de volailles selon les catégories de population.**

	Population adulte		Plus de 65 ans		Enfants	
	Moyenne		Moyenne		Moyenne	
AG, mg/jour	Référence	Huile de lin	Référence	Huile de lin	Référence	Huile de lin
Somme 12:0-16:0	811,2	709,9	725,6	635,0	554,2	485,1
16:0	793,1	693,7	709,5	620,6	542,0	474,0
18:0	200,3	150,3	179,2	134,5	136,9	102,7
16:1 <i>trans</i> totaux	85,4	80,7	76,4	72,2	58,3	55,1
18:1 <i>trans</i> totaux	873,8	631,6	781,7	565,0	597,1	431,5
AGMI	959,2	712,2	858	637,1	655,4	486,7
LA	273,5	388,8	244,6	347,8	186,8	265,7
ALA	38,2	326,7	34,2	292,2	26,1	223,2
EPA	4,7	9,1	4,2	8,2	3,2	6,2
DPA	2,8	5,6	2,5	5,0	1,9	3,8
DHA	2,3	5,9	2,1	5,2	1,6	4,0

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

**Tableau 94 : Influence d'une incorporation de graines de lin dans l'alimentation des volailles sur les apports quotidiens (mg/jour) en AG provenant des viandes de volailles selon les catégories de population.**

	Population adulte		Plus de 65 ans		Enfants	
	Moyenne		Moyenne		Moyenne	
AG, mg/jour	Référence	Graine de lin	Référence	Graine de lin	Référence	Graine de lin
Somme 12:0-16:0	653,2	583,9	584,2	522,4	446,3	399,0
16:0	605,1	546,4	541,3	488,8	413,4	373,4
18:0	195,8	194,7	175,2	174,1	133,8	133,0
16:1 <i>trans</i> totaux	154,8	124,3	138,5	111,2	105,8	84,9
18:1 <i>trans</i> totaux	989,7	884,1	885,3	790,9	676,2	604,1
AGMI	1143,3	1010,8	1022,7	904,2	781,2	690,7
LA	284,9	333	254,9	297,9	194,7	227,6
ALA	36,4	131,3	32,5	117,5	24,8	89,7
EPA	21,1	11,7	18,9	10,5	14,4	8
DPA	0,0	16,4	0,0	14,7	0,0	0,9
DHA	0,0	9,4	0,0	8,4	0,0	6,4

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

**Tableau 95 : Variations d'apports en AG (mg/jour) des différentes catégories de populations, engendrées par une consommation de viande de volailles dont l'alimentation aurait été enrichie en huile ou en graines de lin.**

AG (mg/jour)	Population adulte		Plus de 65 ans		Enfants	
	Huile	Graine	Huile	Graine	Huile	Graine
Somme 12:0-16:0	- 101,3	- 69,3	- 90,6	- 61,8	- 69,1	- 47,3
16:0	- 99,4	- 58,7	- 88,9	- 52,5	- 68,0	- 40,0
18:0	- 50	- 1,1	- 44,7	- 1,1	- 34,2	- 0,8
16:1 <i>trans</i> totaux	- 4,7	- 30,5	- 4,2	- 27,3	- 3,2	- 20,9
18:1 <i>trans</i> totaux	- 242,2	- 105,6	- 216,7	- 94,4	- 165,6	- 72,1
AGMI	- 247	- 132,5	- 220,9	- 118,5	- 168,7	- 90,5
LA	115,3	48,1	103,2	43,0	78,9	32,9
ALA	288,5	94,9	258	85,0	197,1	64,9
EPA	4,4	- 9,4	4,0	- 8,4	3,0	- 6,4
DPA	2,8	16,4	2,5	14,7	1,9	11,2
DHA	3,6	9,4	3,1	8,4	2,4	6,4

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C.

#### 4.1. Substitution par l'huile de lin

La substitution dans les aliments destinés aux volailles des graisses saturées par l'huile de lin entraîne chez l'Homme adulte une diminution de l'apport en AGS de 12 C à 18 C, de 150 mg/j (soit une réduction de 15 % des apports par les viandes de volailles), principalement du 16:0. Cette diminution reste faible rapportée à l'apport journalier moyen total en AGS dans la population adulte (de l'ordre de 0,4 %). L'ingestion des AGMI est également réduite (de 250 mg/jour environ) mais reste faible, de l'ordre du g/jour.

La substitution des graisses saturées par l'huile de lin entraîne une augmentation de la consommation de LA et d'ALA, respectivement d'environ 100 et 300 mg/j. Le taux de couverture de l'ANC (Afssa, 2010 a) en ALA par la viande de volaille atteint 6 %. La consommation de DHA augmente de 3,6 mg/j pour atteindre 6 mg/j ce qui représente toutefois un taux de couverture de l'ANC plus faible (2,4%) que dans le cas de l'ALA (Afssa, 2010 a). Chez les adultes de plus de 65 ans, l'impact de cette pratique alimentaire est dans l'ensemble comparable à celui observé chez l'ensemble des adultes.

La diminution de la consommation des AGS chez l'enfant, rapportée à la consommation journalière moyenne totale d'AGS dans la population enfantine est de l'ordre de 0,3 % (correspondant à 100 mg environ). La diminution de la consommation d'AGMI est plus importante : - 25 % environ. L'augmentation de la consommation de LA et d'ALA est respectivement de 80 et 200 mg/j, et le taux de couverture de l'ANC en ALA est proche de 10 %. La consommation de DHA augmente de 2 à 4 mg/j, conduisant à un taux de couverture des besoins de 1,2 % (Afssa, 2010 a). Ces résultats sont dans l'ensemble comparables, voire légèrement plus faibles que ceux observés chez l'Homme adulte.

#### 4.2. Substitution par les graines de lin

L'apport de graines de lin dans l'alimentation des volailles entraîne chez l'Homme adulte une diminution très faible de la consommation des AGS de 12 C à 18 C, de l'ordre de 70 mg/j, essentiellement due à celle du 16:0. L'effet sur la consommation d'AGMI est lui aussi très limité, de l'ordre de 100 mg/jour. L'apport de graines de lin entraîne également une augmentation de la consommation de LA et d'ALA, respectivement d'environ 50 et 95 mg/j,

mais la contribution de l'apport d'ALA à la couverture de l'ANC est inférieure à 5 %. De même, la consommation de DHA s'élève à 9 mg/j avec la graine de lin mais la contribution à l'ANC chez l'adulte reste inférieure à 1 %. Ces modifications, dans leur ensemble, sont donc généralement de plus faible amplitude que celles entraînées par l'huile de lin. Ceci est vraisemblablement attribuable à l'apport d'huile de lin plus faible dans le cas de l'utilisation de la graine de lin envisagée ici. En effet, la graine de lin contenant environ 50 % d'huile, un apport maximum de 7 % de graines (maximum réaliste relevé dans la littérature) équivaut à un apport de seulement 3,5 % d'huile de lin. Chez l'adulte de plus de 65 ans, l'impact de cette pratique alimentaire est dans l'ensemble comparable à celui observé chez l'ensemble des adultes.

Chez l'enfant, les modifications entraînées sont de plus faible amplitude que celles obtenues chez l'adulte.

**Conclusion.** Les conséquences de la substitution des graisses saturées par l'huile ou la graine de lin dans la ration pour volailles, en termes d'atteinte des ANC, sont globalement favorables.

## 5. L'œuf

### 5.1. Variations de la composition en AG de l'œuf en fonction de la pratique alimentaire

Etant donnée la faible contribution des lipides de l'œuf à la consommation journalière d'AG, seuls ont été considérés ici le DHA et l'ALA, du fait de leur richesse relative dans l'œuf comparativement à celle des autres produits animaux d'origine terrestre et de leur capacité à répondre aux modifications des pratiques alimentaires et de leur intérêt nutritionnel.

#### 5.1.1. L'œuf source de DHA

Le DHA est toujours présent dans les AG de l'œuf. On peut considérer d'après le tableau 71 que les valeurs les plus basses correspondent à un taux de DHA égal à 0,5 % des AG totaux, soit environ 25 mg par œuf pour une quantité totale d'AG par œuf égale à 4,9 g.

L'impact de l'œuf comme source de DHA dans l'alimentation peut être évalué à partir des données analytiques résultant de l'enquête INCA1 (mais ces valeurs ne tiennent pas compte des formes de consommation « cachées » de l'œuf et sous-estiment donc la contribution des lipides de l'œuf dans les apports nutritionnels). On aboutit dans ce cas à une consommation d'environ 1,8 g d'AG par jour et par personne. L'apport en DHA est de l'ordre de 20 mg/j (8 % de l'ANC ; Afssa, 2010 a) (tableau 96).

#### 5.1.2. L'œuf source d'ALA

L'ALA est naturellement présent dans les AG de l'œuf standard. Sa teneur est faible, voisine de 1 %, ce qui correspond à une quantité de 50 mg/œuf. L'apport en ALA provenant d'œufs standard est de 15 mg/j d'après les données de INCA1 (tableau 96).

**Tableau 96 : Caractéristiques des apports de l'œuf en différents AG, en mg/jour, pour la moyenne de l'ensemble des adultes (AG totaux : 1856 mg/jour, données INCA 1) en fonction de la nature des régimes alimentaires et de leur taux de mise en pratique.**

Nature des régimes alimentaires	Moyenne des régimes standard	Régime 10 % graine de lin	Régime 1 % huile de poisson	Régime Lin adopté par 10 % des éleveurs	Régime Poisson adopté par 10 % des éleveurs
Somme 12:0-16:0	ND	ND	530	ND	ND
12:0	ND	ND	ND	ND	ND
14:0	ND	ND	4	ND	ND
16:0	ND	297	520	ND	ND
18:0	ND	ND	167	ND	ND
18:1 9t+10t+11t+12t	ND	ND	ND	ND	ND
CLA totaux	ND	ND	ND	ND	ND
CLA 9c,11t	ND	ND	ND	ND	ND
LA	252	297	297	257	257
ALA	15	91	4	23	14
EPA	ND	ND	6	ND	1
DPA	ND	ND	6	ND	1
DHA	17 ± 8	28	52	20 ± 7	21 ± 7

Somme 12:0-16:0 = somme des AG saturés pairs de 12 à 16 atomes de C. ND : non documenté.

## 5.2. Impact des pratiques alimentaires d'élevage sur la consommation de DHA et d'ALA

### 5.2.1. Huile de poisson

Il convient de mettre l'accent sur l'impact important de l'incorporation d'huile de poisson dans l'alimentation des poules sur le taux de DHA des lipides totaux de l'œuf. Dès l'incorporation de 1 % d'huile de poisson, le taux de DHA atteint 2,8 % des lipides totaux (tableau 71). Une telle pratique conduit à atténuer fortement l'incertitude relative sur les teneurs en DHA des œufs et à plus que doubler les apports moyens journaliers en cet AG. Le taux de couverture de l'ANC est alors d'environ 20 % (Afssa, 2010 a). En ce qui concerne l'ALA, son taux dans l'œuf diminue, entraînant une baisse de sa consommation. Dans l'hypothèse réaliste, compte tenu de la faible disponibilité mondiale prévisible d'huile de poisson, où 10 % des aviculteurs utiliseraient des aliments contenant 1 % d'huile de poisson, l'apport journalier de DHA augmenterait approximativement de 4 mg/j (tableau 96), ce qui ne modifie pas sensiblement le taux de couverture (1,6 %) de l'ANC. Par ailleurs, l'apport en ALA n'est pas modifié.

### 5.2.2. Graines oléagineuses

Les teneurs en ALA et DHA ne sont pas sensiblement modifiées par l'incorporation de graines de soja ou de colza dans l'aliment pour poules poules alors que ces teneurs sont profondément modifiées par l'incorporation de graines de lin. Néanmoins, si aucune différence sensorielle entre des œufs standard ou enrichis en DHA (2,4 fois la teneur en DHA des œufs standard) par l'apport de 5 % de graines de lin extrudées n'a été mise en évidence (Shapira *et al.*, 2008), il faut noter que l'incorporation de graines de lin semble devoir être limitée à 10 % en poids dans l'aliment car les teneurs supérieures conduisent à des problèmes d'acceptabilité, d'arôme et d'odeur qui n'ont pas été résolus. A cet apport de 10 % correspond un pourcentage d'ALA dans les AG de l'œuf de 5-6 % (tableau 71), soit une quantité de 270 mg/œuf entraînant une consommation de 90 mg/j (tableau 96). Le taux

de couverture de l'ANC passe ainsi d'environ 0,7 % avec les œufs standard à 4,1 % avec les œufs « graines de lin ».

L'adoption de cette pratique alimentaire conduit également à une augmentation de la teneur en DHA des AG totaux de l'œuf, teneur qui se situe généralement dans la fourchette 1,5-1,8 %, soit une fois et demi environ la teneur moyenne des œufs standard. La consommation moyenne de DHA dans ce cas passe de 17 à 28 mg/j (tableau 96). Le taux de couverture de l'ANC atteindrait alors 11 % (Afssa, 2010 a).

Dans l'hypothèse réaliste où 10 % des aviculteurs adopteraient l'incorporation de graines de lin dans l'alimentation des poules pondeuses, la consommation d'ALA augmenterait de 15 à 23 mg/j (tableau 96). Le taux de couverture de l'ANC passerait donc de 0,7 % environ à une valeur maximale de 1 %, ce qui représente une amélioration négligeable. Pour le DHA, la consommation augmenterait de 17 à 20 mg/j selon les données d'INCA1, ce qui représente une augmentation également négligeable de la consommation et ne modifie pas sensiblement le taux de couverture de l'ANC.

**Conclusion.** Les deux pratiques d'alimentation animale concernées ont un effet favorable sur les apports de DHA qui permettrait de couvrir une part substantielle de l'ANC, dans l'hypothèse où chacune d'elle est adoptée par tous les éleveurs. Cette hypothèse est conforme à une production de filière (filière poisson ou filière lin). Le taux maximal de couverture de l'ANC du DHA est obtenu avec l'huile de poisson. Ainsi, les effets respectifs de ces deux pratiques alimentaires d'élevage sur le consommateur sont favorables en termes nutritionnel, d'autant que le DHA de l'œuf est majoritairement sous forme de phospholipides, lui conférant ainsi une forte biodisponibilité.

Par contre, l'adoption de ces deux pratiques alimentaires par seulement 10 % des aviculteurs, hypothèse réaliste en dehors du cadre d'une production de filière, présenterait un impact nutritionnel négligeable sur le consommateur moyen.

### 1. Considérations sur la faisabilité de la modification de la composition des produits animaux par les pratiques d'élevage

**1.1** La composition de la matière grasse animale présente des facteurs de variation liés à l'espèce, au type de production (lait *versus* viande...) ainsi qu'à d'autres facteurs animaux comme la race, le génotype, l'âge ou le sexe, ou à certains facteurs environnementaux (alimentation, saison, mode d'élevage). Néanmoins, pour un type de produit animal considéré, le génotype, l'âge ou le sexe modulent moins fortement et surtout moins rapidement son profil en AG que les facteurs liés aux apports alimentaires (quantité et composition des aliments). Par ailleurs, le facteur « saison » est très largement confondu avec les effets de l'alimentation chez les ruminants et il n'a pas d'impact chez les porcs et les volailles. Ainsi, tout en mentionnant l'effet des facteurs intrinsèques aux animaux, le rapport s'est focalisé sur la caractérisation et la quantification des réponses des différents animaux producteurs de denrées alimentaires aux variations qualitatives et quantitatives de leur alimentation.

**1.2.** Les espèces animales diffèrent par le profil en AG de leurs produits du fait des particularités de leur digestion et/ou de leur métabolisme.

Chez les monogastriques, les processus de digestion principalement d'origine enzymatique et la quasi-absence de synthèse de *novo* ou d'altération de la structure des AG dans le tube digestif déterminent des flux d'AG absorbés dont le profil est qualitativement très proche de celui des aliments ingérés. Par ailleurs, il n'existe pas de processus de synthèse des précurseurs des séries n-6 ou n-3. Dans ces conditions, certaines modifications alimentaires chez ces animaux conduisent à des modifications fortes des profils en AG de la matière grasse des produits.

Chez les ruminants, la biohydrogénation ruminale conduit à l'absorption d'AG majoritairement saturés et peu d'AGPI (en particulier ceux de la série n-3). Par ailleurs, puisque les synthèses tissulaires produisent majoritairement des AGS, les produits de ces espèces présentent un profil où la proportion des AGS est majoritaire (lait ou viande). Néanmoins, l'existence de processus de désaturation au niveau du muscle, des tissus adipeux ou de la glande mammaire contribue à la présence d'AGMI de configuration géométrique *cis* (acide oléique majoritairement) dans les produits. Par ailleurs, la biohydrogénation des AG produit de nombreux isomères *trans* du 18:1 (ainsi que du 18:2 et 18:3 dans une moindre mesure) qui sont partiellement transférés dans les produits, tels quels ou désaturés en certains isomères conjugués ou non conjugués de l'acide linoléique ou de l'acide alpha-linolénique. En conséquence, ces phénomènes conduisent à limiter les effets de l'alimentation sur le profil en AG des produits élaborés.

**1.3.** La comparaison entre les ANC et les données de consommation des Français conduit à conseiller de diminuer la consommation des AGS (et en particulier de la somme des AG 12:0 à 16:0), et à accroître celle des AGPI n-3. En conséquence, la majorité des manipulations des régimes alimentaires des animaux s'est focalisée expérimentalement sur l'apport de sources d'AGPI (huiles ou de graines d'oléo-protéagineux, huiles d'origine marine). Par ailleurs, s'il est actuellement admis que les AG *trans* naturellement présents dans les produits de ruminants (principalement l'acide vaccénique et l'acide ruménique) ne présentent pas d'effet néfaste aux niveaux d'apport par les aliments de consommation courante, d'autres AG *trans* présentent des effets soit mal quantifiés, soit inconnus, soit défavorables (en particulier le 18:2 10*t*,12*c*). En conséquence, les données expérimentales d'apport de mélanges industriels d'isomères d'acide linoléique conjugué ont été analysées.

**1.4.** Chez les ruminants, les variations de la nature et de la proportion respective des fourrages (et notamment de l'herbe pâturée), celles des aliments concentrés riches en amidon et/ou en lipides jouent un rôle déterminant dans la variation de la composition en AG des produits. Ainsi, le pâturage d'herbes de plaine ou de montagne riches en ALA permet d'accroître linéairement les teneurs en ALA du lait des vaches laitières ou de la viande des bovins ainsi que celles des acides oléique (18:1 9c), vaccénique (18:1 11t) et ruménique (18:2 9c,11t) par rapport aux rations à base d'ensilage de maïs ou riches en aliments concentrés. L'accroissement de l'ALA apparaît plus important chez les bovins en croissance que dans le lait des vaches laitières alors que c'est l'inverse pour l'acide ruménique (18:2 9c,11t). Ces variations s'accompagnent d'une réduction des AGS (12:0 à 16:0) et d'un accroissement d'autres isomères du CLA comme le 11t,13c et le 11c,13t alors que l'isomère 10t,12c est rarement détecté chez les vaches laitières ou les bovins en croissance alimentés au pâturage. Chez les bovins en croissance, la viande présente aussi une teneur légèrement accrue en EPA et en DHA. Ces données montrent que le pâturage permet surtout de réduire significativement la proportion des AGS, et en particulier celle des AG de 12:0 à 16:0.

L'apport accru d'aliments concentrés riches en amidon induit chez la vache laitière des variations du profil en AG fonction de la proportion d'aliments concentrés déjà présents. Cet apport au sein de rations riches en fourrages accroît la proportion des AGS à chaîne courte ou moyenne du lait et s'accompagne d'une réduction de la somme des 18:1 *trans* (en particulier de l'acide vaccénique) mais aussi de l'ALA. A l'inverse, l'addition d'aliment concentré dans des rations déjà riches en ce type d'aliment induit une réduction des AGS et un accroissement des 18:1 *trans* totaux et du LA dans le lait. La seule réponse commune à l'addition d'aliment concentré entre ces deux groupes de rations est un accroissement du 18:1 10t et du LA, effet peu favorable en relation avec les ANC. En France, l'apport d'aliments concentrés dans les rations s'effectue néanmoins plutôt au sein de rations riches en fourrages.

**1.5.** Par rapport aux graines d'oléo-protéagineux (tournesol, colza, soja) classiquement utilisées dans l'alimentation des volailles et plus marginalement chez le porc, et surtout par rapport au suif ou à l'huile de palme, l'apport alimentaire croissant d'ALA essentiellement sous forme de graine ou d'huile de lin permet une augmentation importante et souvent linéaire de sa proportion dans le muscle et plus encore dans le tissu adipeux. Du fait des capacités (modestes) d'élongation de l'ALA en AGPI-LC, l'apport de lin permet aussi d'accroître les teneurs en EPA, DPA et DHA de la viande, l'ensemble s'effectuant au détriment du LA, de l'acide oléique, et plus marginalement des AGS. L'intensité de variation du profil en AG suite à ces apports alimentaires dépend du type de muscle considéré, de l'état d'engraissement de l'animal du fait d'un stockage préférentiel de l'ALA dans les triglycérides et de l'espèce considérée.

L'apport croissant d'ALA sous forme de graines de lin dans l'alimentation de la poule pondeuse conduit aussi à un enrichissement proportionnel de cet AG dans les lipides totaux de l'œuf, principalement en substitution de l'acide oléique et secondairement des AGS (essentiellement de l'acide palmitique). Pour l'EPA et le DHA, les quantités accumulées s'accroissent puis finissent par plafonner lorsque l'apport d'ALA augmente. Dans l'œuf, les quantités de DHA obtenues sont plus élevées que dans la viande des volailles de chair.

Chez les monogastriques, des apports croissants de lin, dans la limite néanmoins des contraintes technologiques de la fabrication des aliments et des contraintes zootechniques, entraînent donc une amélioration globale du profil en AG des produits considérés (amélioration des apports en AG n-3). Ces apports se développent actuellement dans le cadre de filières de production « de niche » ou de production labellisées (œufs ou viandes « riches en n-3 »).

Chez les ruminants laitiers, l'apport d'huiles ou de graines oléagineuses largement étudié expérimentalement est plus marginalement pratiqué en élevage, du moins en France. Ces matières premières n'accroissent fortement la proportion du LA dans le lait que lorsqu'elles sont protégées de la biohydrogénation ruminale. Seul l'apport de lin (et plus modestement l'apport de colza) protégé permet un accroissement significatif des teneurs en ALA du lait. Ces apports de graines ou d'huiles présentent par ailleurs des effets qualitatifs identiques à ceux d'une alimentation au pâturage ; ainsi, la proportion des AGS depuis l'acide laurique (12:0) jusqu'à l'acide palmitique (16:0) est fortement et linéairement réduite au profit de celle des acides stéarique (18:0) et oléique (18:1 9c) par l'apport d'huile ou de graines de tournesol et surtout de lin, comparativement aux huiles et graines de soja ou de colza. Les matières premières riches en LA ou ALA accroissent également substantiellement la teneur des acides vaccénique (18:1 11t) et ruménique (18:2 9c,11t). Elles augmentent aussi, de façon plus marquée que le pâturage, d'autres isomères *trans* du 18:1 et du 18:2, notamment lorsqu'elles sont ajoutées à des rations riches en concentrés et/ou en ensilage de maïs : les huiles et graines riches en LA accroissent en particulier le 18:1 10t et les isomères 18:2 10t,12c, 8t,10c, 7t,9c et 9t,11c alors que celles riches en ALA accroissent notamment les isomères 18:1 13t/14t et les isomères 18:2 9c,12t, 9c,13t et 11t,15c. Chez les bovins en croissance, les résultats sont qualitativement de même nature que chez les vaches laitières, à savoir un accroissement de l'ALA exclusivement avec l'apport de lin ; toutes les autres graines ou huiles d'oléo-protéagineux accroissent l'acide ruménique (en particulier le soja et le tournesol) ainsi que les AG monoènes (en particulier l'acide vaccénique).

**1.6.** Chez les monogastriques et les ruminants, d'autres sources de matières premières riches en lipides peuvent être utilisées dans des objectifs nutritionnels ou zootechniques spécifiques. Ainsi, dans les élevages standards de porcs ou de volailles ou dans les élevages laitiers, l'huile de palme ou certains co-produits des palmiers peuvent être largement utilisés en France pour remplacer les corps gras d'origine animale, du fait de leur coût relativement faible comparé à leur apport énergétique ce qui constitue l'un des principaux arguments d'achat des fabricants des aliments pour bétail ou pour maintenir le TB du lait (élevage des petits ruminants laitiers). Ces matières premières riches en acides palmitique et oléique accroissent ces deux AG dans tous les produits et l'acide stéarique dans la matière grasse laitière.

L'apport de matières premières d'origine marine (farines ou huile de poisson, algues) a pour objectif principal d'accroître la teneur en AGPI-LC n-3 dans tous les produits animaux. Dans l'œuf, dans la viande de porc ou de volailles ainsi que dans le lait, on observe un transfert de l'EPA et du DHA proportionnel aux quantités apportées. Néanmoins, chez toutes ces espèces, et notamment chez les ruminants, l'efficacité de transfert est faible, conduisant à un enrichissement modeste de ces AG. Cet enrichissement en AGPI-LC n-3 présente par ailleurs plusieurs limitations : flaveurs défavorables des produits dues à l'oxydation des AG, difficultés de transformations technologiques des produits, faible disponibilité et coût élevé de ces matières premières qui font que cette pratique est peu réalisée sur le terrain, notamment chez le porc où les cahiers des charges l'interdisent.

**1.7.** Les mélanges d'isomères des CLA protégés de la biohydrogénation ruminale induisent une réduction forte et dose-dépendante de la sécrétion et de la concentration de la matière grasse laitière chez les bovins due à un accroissement de la disponibilité en 18:2 10t,12c pour la mamelle, mais la concentration de cet AG reste néanmoins généralement inférieure à 25 mg/l de lait. Ces apports accroissent modestement les proportions des isomères *trans* du 18:1 (en particulier celle du 18:1 10t) et réduisent faiblement les AGS compris entre l'acide caprique (10:0) et l'acide palmitique (16:0).

L'utilisation de mélanges d'isomères des CLA induit un accroissement des teneurs de ces AG dans la carcasse des porcs, de volailles et dans les œufs, le plus souvent au détriment

de l'acide oléique, les AGS étant augmentés de façon variable suivant les espèces considérées.

## **2. Impacts potentiels de modifications spécifiques des pratiques d'alimentation des animaux en conditions de terrain sur l'ingestion des différents AG chez l'Homme**

**2.1.** Les résultats présentés ci-dessus résultent de l'analyse de données issues de publications expérimentales dans lesquelles les facteurs étudiés ne peuvent être simplement et directement extrapolés à la totalité de la production d'une filière d'élevage. En effet, certaines conditions expérimentales de ces essais n'ont pas actuellement de justification en pratique ou peuvent être d'application limitée. En outre, la multiplicité des facteurs impliqués en pratique atténue fortement ce qui peut être observé en milieu expérimental bien contrôlé. Il s'agit donc de chercher à évaluer de façon globale et par modélisation l'impact des changements des systèmes alimentaires ou de matières premières spécifiques sur les variations des quantités d'AG ingérés par l'Homme, et donc indirectement sur les apports nutritionnels que peuvent induire des modifications réalistes. Les familles de denrées constituées par le lait de vache, les viandes porcine, bovine et de poulet ainsi que les œufs ont été retenues car elles représentent 95 % des lipides provenant d'animaux terrestres consommés par l'Homme selon l'enquête INCA1. Les populations étudiées ont été principalement celles des adultes et celles des enfants.

**2.2.** Ruminants laitiers : dans les systèmes de ruminants laitiers, les simulations ont porté, chez 10 % des éleveurs sur la conversion totale de leur système fourrager, passant de systèmes hivernaux basés sur l'ensilage de maïs vers des systèmes recourant à l'ensilage d'herbe ou au foin, associée à la réduction de 30 % de la surface en ensilage de maïs chez tous les éleveurs conservant ce fourrage. Pour l'alimentation estivale, une approche identique a été limitée à la seule simulation du changement chez 30 % des éleveurs substituant un système fourrager à base d'ensilage de maïs par un système basé sur l'herbe. Les résultats obtenus durant la période hivernale montrent une faible réduction de la consommation humaine d'AGS, essentiellement due à une réduction du 12:0 au 16:0, sans accroissement sensible des AG *trans* consommés. En situation estivale, la consommation humaine des différents AG est faiblement affectée par les modifications simulées, même dans le cas de consommation de lait issu de vaches exclusivement alimentées à l'herbe. D'une façon générale, les modifications de consommation liées à des changements limités des systèmes alimentaires ne sont pas globalement de nature à modifier les apports nutritionnels du consommateur dans les conditions de la simulation.

La simulation des effets de l'apport d'aliments concentrés dans la ration des vaches laitières sur la consommation humaine d'AG s'est focalisée sur une réduction de ces apports de 30 % chez la moitié des éleveurs. Cette modification de pratique a pour résultat essentiel de diminuer la consommation humaine des AG *trans* totaux, particulièrement des AGMI *trans* sauf l'acide vaccénique. Cette réduction de la quantité d'aliments concentrés présenterait pour le consommateur des conséquences plutôt bénéfiques en terme d'apports nutritionnels, voire de santé ; néanmoins, cette conclusion est très largement à moduler en pratique, du fait de la grande sensibilité des simulations aux paramètres utilisés (en particulier le pourcentage d'éleveurs qui diminue l'apport d'aliments concentrés aux vaches laitières).

En comparaison à des rations sans source spécifique de lipides, la simulation de l'apport d'oléo-protéagineux dans la ration sur la consommation humaine d'AG a été focalisée sur l'incorporation dans l'alimentation hivernale des vaches laitières d'une quantité limitée de graines entières non protégées (3 à 4 % de la matière grasse des rations) par 20 % des éleveurs, ou par 100 % des éleveurs dans le cas de la graine de lin exclusivement (cadre

d'un « lait de filière lin » limitée géographiquement). Par ailleurs, les effets d'interaction digestive entre apport d'amidon et supplémentation lipidique chez les vaches laitières sur le profil en AG du lait, puis sur la consommation d'AG par les adultes et les enfants ont été simulés par l'étude de rations à base d'ensilage de maïs ou de rations à fort pourcentage d'aliments concentrés et supplémentées toutes deux par des lipides d'oléo-protéagineux (huile ou graine). Les simulations montrent une réduction de la consommation d'AGS (et particulièrement des AG 12:0 à 16:0) au profit de celle des AG *trans* totaux (sauf avec le colza), en particulier le 18:1 9*t*, 10*t* et 11*t*, et au profit de l'acide ruménique (18:2 9*c*, 11*t*). Ces variations sont amplifiées lorsque l'apport d'oléo-protéagineux s'effectue au sein de rations riches en amidon. Seule la graine de lin permet d'accroître significativement, mais modestement, la consommation humaine d'ALA de façon proportionnelle à la quantité incorporée dans l'alimentation des vaches et ce jusqu'à 5 % de l'ANC. Cet effet positif est néanmoins à relativiser du fait de l'accroissement de la consommation humaine du 18:1 10*t* et du 18:2 10*t*, 12*c*, accroissement substantiel exclusivement lors de consommation de « lait de filière lin » ou de lait issus de vaches recevant des quantités importantes d'amidon et d'oléo-protéagineux. Il apparaît donc difficile de conclure, compte tenu du faible nombre de publications disponibles, à un effet positif de l'apport des oléo-protéagineux dans l'alimentation des vaches laitières.

Les variations de la consommation humaine d'AG d'origine laitière après simulation d'un apport d'un mélange de CLA fournissant 14 g de l'isomère 18:2 10*t*, 12*c* dans l'alimentation des vaches laitières restent d'ampleur modérée dans toutes les catégories de populations considérées. Cependant, il doit être considéré avec prudence du fait de l'accroissement de la consommation d'AG *trans*. L'accroissement de la consommation humaine d'autres isomères de CLA après simulation nécessite d'entreprendre des études sur leurs effets vis-à-vis de la santé humaine.

**2.3. Bovins à viande :** Chez les bovins à viande, il n'a pas été possible de réaliser de simulations aussi précises que dans le cas des vaches laitières, du fait du faible nombre de données expérimentales disponibles (notamment chez les bovins à l'herbe), d'une plus grande variété de types d'animaux produits et d'une moindre connaissance de la répartition de ces types au sein des différents systèmes alimentaires. Les simulations ont donc été effectuées en considérant que, chaque modification considérée du régime alimentaire était adoptée par tous les éleveurs de façon uniforme. Même dans cette hypothèse extrême, les variations induites de la consommation d'AGS restent faibles. Une modification intéressante du point de vue nutritionnel est constituée par l'apport de graines de lin (pour un équivalent de 4 % de lipides) dans les rations à base d'ensilage de maïs et de concentré, ou à base de foin et de concentré, qui permet d'accroître les apports d'ALA et ceux d'EPA + DPA. Ces observations positives s'accompagnent d'un accroissement de la consommation d'AGMI *trans*, qui reste cependant inférieur à celui obtenu lors de la consommation de viandes issues d'animaux exclusivement élevés à l'herbe.

**2.4. Porcs :** dans l'hypothèse d'une adoption par l'ensemble de la filière des modifications alimentaires simulées chez le porc en croissance-finition, la substitution des matières grasses riches en AGS (palme ou coprah) par des quantités équivalentes de lipides apportées par de la graine ou de l'huile de lin permet d'accroître significativement la consommation humaine d'ALA (jusqu'à 15 % de l'ANC), et plus faiblement celle des AGPI-LC (en particulier du DHA) et de réduire celle du LA dans les populations considérées, sans modification significative des autres groupes d'AG. La même simulation effectuée avec le colza induit des variations qualitatives de même nature mais quantitativement négligeables. Les conséquences potentielles de la substitution des graisses saturées par l'huile ou la graine de lin dans la ration des porcs sont globalement favorables sur les apports nutritionnels de l'Homme.

**2.5.** Volailles : chez le poulet de chair en croissance, la substitution de matières grasses riches en AGS par des quantités équivalentes de lipides sous forme d'huile de lin (1,5 % du régime) ou de graines de lin (3 % du régime), même dans l'hypothèse d'une adoption de cette pratique par 100 % des éleveurs en France, induit une faible diminution de la consommation des AGS et des AGMI. Par contre, l'adoption de tels régimes (en particulier avec l'huile de lin) chez tous les éleveurs permet de couvrir 15 % des ANC de l'ALA et de 2 à 5 % de l'ANC du DHA (Afssa, 2010 a). Les conséquences potentielles de la substitution des graisses saturées par l'huile ou la graine de lin dans la ration pour volailles de chair sont globalement favorables sur les apports nutritionnels de l'Homme.

**2.6.** Œufs : dans l'œuf, la simulation d'une incorporation réaliste d'1 % d'huile de poisson réalisée par 10 % des éleveurs de poules pondeuses ne contribue qu'à accroître faiblement les apports en DHA, sans effet sur l'ALA. Seule l'hypothèse (délicate à réaliser du fait de la disponibilité réduite de ces huiles) d'une telle pratique réalisée chez tous les éleveurs de poules pondeuses permettrait de doubler la consommation de DHA mais avec une réduction de l'ALA. L'incorporation limitée pour des raisons pratiques à 10 % de graines de lin et réalisée par 10 % des éleveurs ne conduirait qu'à une faible amélioration des apports de DHA et d'ALA tandis qu'à ce niveau d'incorporation, l'adoption d'une telle pratique par tous les éleveurs d'une filière donnée accroîtrait fortement les apports en ALA et DHA (entre 5 et 12 % des ANC ; Afssa, 2010 a), ce qui est favorable aux apports nutritionnels de l'Homme.

### **3. Limites du rapport**

**3.1.** Les conclusions établies ci-dessus par simulation des modifications des pratiques alimentaires en élevage présentent des limites liées à l'origine des données d'entrée concernant le profil en AG des produits animaux (évolution des méthodes analytiques), les données de consommation des produits animaux par l'Homme, l'amplitude des paramètres utilisés pour simuler les changements des pratiques alimentaires ou l'effet des traitements technologiques industriels et ménagers sur ces profils en AG. Concernant ce dernier point, s'il est admis que la majorité des traitements technologiques industriels appliqués aux produits laitiers ne modifient que faiblement leurs profils en AG, certaines données montrent à l'inverse que la congélation des produits peut réduire les teneurs en AGPI. Ainsi, l'extrême diversité des traitements envisageables pour les différents produits animaux, depuis la phase de production jusqu'à l'assiette des consommateurs, voire l'insuffisance ou l'indisponibilité des informations concernant les effets de ces traitements sur le profil en AG des produits, n'ont pas permis de traiter ce point de façon quantitative.

**3.2.** Profils en AG des produits animaux : Les données d'entrée concernant les profils en AG des produits animaux et leurs facteurs de variation présentent certaines limites, en particulier l'utilisation de données expérimentales publiées, de nature très hétérogène (tant sur le point de vue des facteurs expérimentaux étudiés que de celui de l'origine géographique des données) ce qui induit une forte variabilité des résultats obtenus, en particulier pour des AG dont les teneurs sont faibles (ALA chez les ruminants par exemple). L'approche par méta-analyse de ces bases de données qui a été retenue dans ce rapport permet néanmoins de pallier cet inconvénient et elle permet d'établir des réponses plus quantitatives et plus généralisables que celles obtenues à partir d'une expérimentation ou d'un petit groupe d'expérimentations. Par ailleurs, les méta-analyses conduites ont mis en évidence dans de nombreux cas, le faible nombre de données complètes utilisables pour les différents types de rations envisagés. Enfin, ces données peuvent faire référence à des pratiques (suif, saindoux en alimentation des monogastriques par exemple) non utilisables

actuellement en France du fait de contraintes réglementaires mais qui constituent néanmoins le niveau de référence sur lequel s'est effectuée la modification d'alimentation.

Certains effets de l'alimentation n'ont par ailleurs fait l'objet que d'un nombre limité de publications (effet de l'apport de lin sur les teneurs en DHA de l'œuf ou effet de l'herbe sur les AG de la viande bovine) ou bien certains biais de confusion ont pu rendre partielles certaines conclusions (données majoritairement au pâturage pour les brebis laitières *versus* données majoritairement en alimentation hivernale pour les chèvres).

L'absence d'informations quantitatives dans certaines publications peut avoir partiellement biaisé la relation entre alimentation des animaux et profil en AG des produits (présence ou non de la peau sur les morceaux de volailles consommés). Cette absence de précision peut également être due à des sous- ou surestimations de la contribution de certains AG (*trans* et CLA spécifiquement) dans la mesure où les méthodologies de dosage n'ont évolué que de façon récente. Ceci a également conduit à ne pas pouvoir déterminer de prédiction simple de la teneur en AG *trans* des produits animaux du fait d'imprécisions sur la co-élution de certains isomères des AGMI *trans* ou des CLA dans de nombreuses publications.

Enfin, pour certains AG (en particulier pour tous les isomères des CLA autres que l'acide ruménique et l'isomère 10*t*,12*c* ainsi que pour les 18:2 *trans* non conjugués), le nombre de publications traitant de leurs facteurs de variations chez les ruminants est encore trop restreint pour donner lieu à des conclusions.

**3.3. Données de consommation humaine** : Les données de consommation humaine des produits animaux ont été extraites de l'étude INCA1 datant de 1999, qui n'est plus totalement représentative des habitudes alimentaires des consommateurs actuels. Par ailleurs, l'étude INCA1 ne permet pas d'estimer de manière satisfaisante les consommations de matières grasses d'origine animale du fait de l'origine mixte de certains aliments sans différenciation possible de la part des MG animales et végétales qui les composent (produits industriels ou artisanaux). Enfin, ces estimations peuvent être biaisées par le comportement du consommateur (consommation de morceaux de poulets avec ou sans peau par exemple). Ceci conduit donc à un biais partiel des conclusions concernant les effets des pratiques alimentaires en élevage sur la consommation humaine d'AG d'origine animale. L'utilisation de cette enquête pour estimer les consommations a néanmoins été effectuée pour plusieurs raisons. D'une part, pour des raisons d'homogénéité, le présent rapport se devait de produire des conclusions dont la portée sera comparée à celles du rapport Afssa (2005 a) sur les AG *trans*, rapport qui constituait l'un des motifs de la création du présent groupe de travail. D'autre part, à l'initiation de ce travail, seule cette étude de consommation était disponible. Enfin, l'utilisation des données de disponibilité en matières grasses pour la consommation humaine, fournies par les organisations professionnelles ou instituts techniques liés à une filière donnée, n'était pas pertinente au regard des objectifs du groupe de travail car ces valeurs sont supérieures aux consommations effectives de ces matières grasses, dans la mesure où elles caractérisent essentiellement les quantités de matières grasses mises sur le marché (bilan entrées-sorties).

Ces données de consommation d'AG dans la population humaine ont été récemment réévaluées dans l'étude INCA2 (Afssa, 2009 b). Par rapport à l'étude INCA1, elles montrent que la consommation moyenne de lait et de fromage est réduite de 8 et 12 % dans la population adulte (ensemble hommes et femmes) et chez les enfants (3 à 17 ans) alors que l'ultra frais laitier est en progression dans la population adulte. Parallèlement, la consommation de viande (bovine et porcine), celle de la volaille et celle des œufs sont également réduites dans ces 2 catégories de la population, ces réductions étant plus marquées chez les enfants (3-17 ans). Ces variations bien que significatives, n'apparaissent pas de nature à remettre en cause les conclusions de ce rapport. Suite à la substitution intra-

familles de denrées qui se sont opérées (ultra-frais laitiers *versus* lait et fromages et plus particulièrement, la substitution de consommation au sein de la famille des viandes porcine *versus* bovine...), il pourrait néanmoins être utile d'apprécier l'évolution de la consommation humaine en AG d'origine animale en réalisant de nouvelles simulations avec les mêmes hypothèses de changements des pratiques d'élevage.

Par ailleurs, une autre limite de ce rapport tient à l'évolution permanente des connaissances concernant l'effet des AG, notamment des AG *trans*, sur la santé humaine. Sur la base de nouveaux travaux cités dans ce rapport, il est possible d'avancer que les effets des AG *trans* d'origine animale sont aujourd'hui mieux connus. Cependant, si ces AG *trans* ne semblent pas présenter des effets délétères aux niveaux de consommation observés en France, avec par ailleurs une diminution de près de 40 % de leurs apports sur la base de données compilées en 2009 par rapport à celles de 2005 (Afssa, 2009 a et 2005 a), aucune donnée ne permet d'affirmer qu'ils présenteraient un effet bénéfique.

Il existe aujourd'hui encore de nombreuses controverses sur les risques et les avantages respectifs de certains AG ou groupes d'AG, ou sur les équilibres entre ces AG. En ce sens, les conclusions dans ce rapport selon laquelle une manipulation de l'alimentation peut présenter des effets négatifs ou positifs s'appuient sur un consensus scientifique figé à un instant donné de l'analyse concernant tel ou tel groupe d'AG ; elles sont donc fortement sujettes à réévaluation dans la mesure où des données récentes pourraient remettre en cause ce consensus.

**3.4. Hypothèses de simulation :** Une troisième limite qui tient aux hypothèses sélectionnées dans les simulations nécessite d'être prise en compte. Dans le cas des systèmes de ruminants laitiers, des contraintes évidentes mais assez fortes de faisabilité techniques ou économiques concernant les modifications liées aux systèmes fourragers très divers existants en France ont limité l'impact de ces modifications comparativement à ce qui pouvait ressortir de l'analyse des bases de données (qui d'ailleurs peuvent elles-mêmes avoir minimisé l'impact d'une pratique par leur hétérogénéité). Il apparaît ainsi difficilement faisable d'appliquer des modifications de ces systèmes fourragers avec une amplitude supérieure à celle retenue dans les simulations. Par ailleurs, l'utilisation dans certains cas de données en situation de « terrain » (laits de grand mélange) peut avoir largement minimisé les effets de tel ou tel grand système d'alimentation par rapport aux études réalisées en stations expérimentales.

A ce titre, les effets des modifications des pratiques alimentaires apparaissent avoir une plus grande efficacité avec les systèmes de production de monogastriques qu'avec ceux de ruminants, en particulier pour moduler les apports en AGPI de la série n-3. Ceci doit néanmoins être tempéré par le fait qu'il a été possible d'appliquer une hypothèse de 100 % d'adoption de certaines pratiques alimentaires (exemple de l'apport de graines de lin) dans le cas des monogastriques du fait de l'organisation de ces filières alors que ceci est quasiment impossible pour les filières de ruminants (sauf lait de filières spécifiques) du fait de la dépendance aux fourrages de celles-ci et de l'hétérogénéité de leurs systèmes d'élevage et d'alimentation.

Enfin, les effets des changements des pratiques alimentaires sur les performances de production des animaux et surtout sur la quantité de matières grasses secrétées dans le lait ou déposées dans la viande n'ont pas été intégrés dans les simulations. L'effet sur les performances zootechniques couvre essentiellement la composante économique de la faisabilité de ces modifications de pratiques, qui est hors de propos dans ce rapport, quoique importante en pratique. Le coût des suppléments lipidiques devrait être également pris en compte dans le contexte actuel de crise alimentaire et énergétique. L'effet sur la quantité de lipides produits par l'animal est en outre essentiel à considérer dans la mesure où il

conditionne les quantités totales de lipides ingérés par l'Homme : ceci n'a néanmoins pas été fait dans la mesure où l'un des objectifs de ce rapport était d'examiner, pour un mode de consommation alimentaire donnée, dans quelle mesure le « profil nutritionnel » des AG consommés pouvait être modifié de façon à améliorer l'état nutritionnel et la santé du consommateur.

#### 4. Recommandations

**4.1.** Il faut rappeler que la modification de la proportion de chaque AG pris séparément ou des équilibres entre groupes d'AG au sein de la consommation alimentaire ne représente qu'un facteur secondaire comparativement à l'équilibre entre apports et dépenses caloriques. Il convient donc de rappeler la nécessité de leur ajustement afin d'éviter les problèmes de santé liés aux déséquilibres de la balance énergétique. Ce questionnement se situe aussi dans le cadre des grands équilibres entre apports de lipides et ceux des macro-éléments et des micro-nutriments. Il paraît donc essentiel de recommander la poursuite d'études nutritionnelles sur les interactions entre nutriments, prise énergétique et métabolisme énergétique chez l'Homme, ainsi que des études caractérisant les effets à long terme de synergies positives ou négatives associées au type de régime de base (quantité et qualité) auquel s'ajouteraient des produits animaux dont le profil en AG aurait été modifié, en prenant également en compte la structure des lipides considérés (triglycérides, phospholipides...).

**4.2.** Dans l'objectif direct de mieux couvrir les besoins en AG de la série n-3, et dans un objectif indirect de diminuer la pression sur les ressources marines, la supplémentation alimentaire des animaux avec du lin et dans une moindre mesure avec du colza constitue une voie intéressante, au moins dans les filières d'animaux monogastriques (sauf dans le cas d'apport de colza chez les poules pondeuses). Cette pratique apparaît d'autant plus envisageable que les matières premières riches en AGPI-LC de la série n-3 d'origine marine sont coûteuses et peuvent induire des propriétés gustatives et technologiques défavorables. L'incorporation de lin dans les rations animales accroît la teneur en ALA des produits, et du fait du rôle bénéfique potentiel des AGPI-LC n-3 sur un certain nombre de maladies chroniques dégénératives, il conviendrait d'apporter prioritairement cette matière première aux espèces ayant une efficacité élevée de transfert de l'ALA dans les produits et des capacités significatives de conversion de l'ALA en AGPI-LC n-3. Du point de vue du transfert dans les produits, les animaux monogastriques sont plus efficaces que les ruminants : les simulations effectuées montrent qu'à même apport d'ALA, l'efficacité de transfert de cet AG est la plus élevée dans l'œuf et à un degré moindre dans la viande de porc et de volailles, puis dans la viande de ruminant et le lait. Par ailleurs, la conversion de l'ALA en AGPI-LC existe dans l'œuf ou le muscle des monogastriques et des ruminants mais pas dans la glande mammaire des ruminants ce qui peut limiter l'intérêt global de l'apport de lin chez les ruminants laitiers (mais pas chez le ruminant à viande) en termes d'impact positif sur les AGPI-LC.

Il n'est néanmoins pas possible de recommander en l'état actuel des connaissances une utilisation systématique des graines d'oléo-protéagineux et parmi elles, des graines de lin dans l'alimentation des ruminants, et ce, pour plusieurs raisons. En effet, si l'efficacité de l'utilisation des graines de lin chez le ruminant est plus faible que chez le monogastrique, cette pratique peut contribuer, comme la supplémentation avec d'autres oléo-protéagineux, à réduire la consommation humaine d'AGS à partir des produits de ruminants. Pour ces produits issus du ruminant, elle peut cependant augmenter la consommation d'AG *trans*, dont les isomères 9*t* et 10*t* du 18:1 et le 18:2 10*t*,12*c*. Cependant, les simulations effectuées avec la graine de lin dans les publications prises en compte l'ont été avec des doses élevées d'apport, probablement supérieures à celles utilisées en élevage, ce qui limite probablement

la production des AG *trans* ; ces simulations relativisent aussi les conclusions sur les effets concernant le 18:3 n-3 des produits issus de ruminants.

Par ailleurs, il n'existe pas ou peu de données sur l'effet à long terme de cette supplémentation sur la santé animale ou sur le transfert dans les produits animaux de molécules présentes dans le lin (lignanes et dérivés ; Afssa, 2005 b) aux produits animaux. Il apparaît donc souhaitable que des recherches soient effectuées dans les espèces cible concernant l'effet de l'incorporation de lin durant des périodes longues (en relation avec leur cycle de production) sur le transfert de ces molécules aux produits animaux et les conséquences qu'elles pourraient présenter pour l'Homme ou l'Animal. Par ailleurs, il apparaît que les produits issus d'animaux alimentés avec différentes sources d'AGPI peuvent présenter des phénomènes d'oxydation conduisant à des composés (lipoperoxydes) potentiellement à l'origine de qualités organoleptiques défavorables et dont les effets sur la santé de l'Homme sont encore insuffisamment quantifiés. Ceci pourrait contraindre à accroître les teneurs en antioxydants dans l'alimentation animale, avec des effets nutritionnels encore peu évalués. Enfin, la généralisation de l'utilisation de telle ou telle culture d'oléo-protéagineux ne peut s'analyser qu'en intégrant les conséquences sur les aspects agronomiques, économiques et environnementaux de cette culture.

**4.3.** Dans un objectif d'amélioration de l'état nutritionnel de la population humaine, une réduction des excès de consommation d'AGS, en particulier des plus hypercholestérolémiantes est nécessaire, en se focalisant donc principalement sur les acides palmitique (16:0), myristique (14:0) et laurique (12:0). Dans ces conditions, le développement de l'utilisation en Europe de produits peu coûteux à base d'huile de palme à des fins énergétiques dans les rations pose question pour toutes les espèces de rente. Il conviendrait de déterminer un niveau maximal d'incorporation de ce type de matière première voire de déconseiller son utilisation.

Chez le ruminant, la réduction des AGS (spécifiquement ceux évoqués ci-dessus) peut être systématiquement obtenue par un apport d'oléo-protéagineux, réduction accompagnée cependant dans certains cas d'une augmentation des AG *trans*. Néanmoins, l'amplitude de cette diminution reste modeste, de l'ordre de 1,8 g/j d'AGS (soit 0,8 % de l'AET ou 5 % de la consommation d'AGS totaux ; Afssa, 2009 b) pour des consommateurs consommant exclusivement des produits laitiers issus de vaches alimentées avec de la graine de lin. Par ailleurs, l'efficacité comparée des formes d'apport, huile ou graine, reste insuffisamment documentée pour privilégier l'une ou l'autre des formes ou pour choisir ces oléo-protéagineux entre eux. Des études devraient donc être entreprises afin de préciser ce point d'autant que ces formes conditionnent l'importance des variations quantitatives et qualitatives des AG *trans* dans les produits dont les effets biologiques chez l'Homme sont encore l'objet de recherches. Par ailleurs, les effets à long terme de ces suppléments lipidiques (et leurs interactions avec le type de ration utilisé) sur la composition en AG du lait et sur les performances laitières (production laitière, TB et TP du lait), sur la reproduction et la santé des vaches laitières, sont encore peu quantifiés. De plus, les effets secondaires potentiels des différentes pratiques alimentaires sur la qualité technologique, sensorielle et sanitaire (transfert éventuel de facteurs anti-nutritionnels présents dans certaines graines, variations de nutriments à effet pro-oxydant, apports alimentaires d'antioxydants...) des produits d'origine laitière demandent à être mieux évalués.

En dépit d'une réduction de la consommation humaine d'AGS (environ 0,6 g/j) et en particulier de l'acide palmitique par l'utilisation en élevage laitier de rations chez la vache laitière associant apport d'AGPI et amidon, il convient de rester prudent quant au développement de l'utilisation de ce type de rations du fait de la quantité d'AG *trans* produits dans le lait, en l'état actuel du débat scientifique sur les différents AG *trans* (monoènes, CLA et autres AG *trans*). Il paraît néanmoins nécessaire de recommander que des recherches

puissent être conduites afin de mieux quantifier ces effets liés aux interactions entre apports de glucides de réserve et de lipides dans les rations du ruminant laitier ou en croissance.

**4.4.** L'apport de mélanges industriels de CLA dans l'alimentation animale aux taux d'incorporation actuellement pratiqués ne présente pas de conséquences notables en termes d'apport nutritionnel chez l'Homme. Néanmoins, chez la vache laitière, les doses faibles d'apports de CLA suffisantes pour faire chuter le taux butyreux (TB) du lait induisent un accroissement significatif des différents AG *trans* du lait, accroissant la consommation humaine de ces AG, d'un ordre de grandeur néanmoins légèrement inférieur à celui simulé par la combinaison de graines d'oléo-protéagineux et d'amidon dans les rations. Par ailleurs, il est nécessaire de recommander que des études soient conduites afin de préciser les effets de l'administration de ces produits alimentaires durant de longues périodes sur des paramètres comme l'état de santé des animaux ou leur capacité de reproduction.

**4.5.** Des recherches chez l'animal devraient être conduites afin de compléter les données de réponse pour les différents AG d'intérêt en fonction des nombreux systèmes d'alimentation et d'élevage rencontrés en France. Par ailleurs, il pourrait être envisagé une quantification de l'effet des traitements technologiques, qu'ils soient artisanaux, industriels et ménagers sur les modifications du profil en AG des produits animaux et une identification des conséquences en terme de nutrition humaine. Enfin, les conclusions du présent groupe de travail pourraient être affinées sur la base de simulations, utilisant les apports nutritionnels conseillés pour les acides gras mis à jour (Afssa, 2010 a), des données de composition consolidées et des données de consommation plus complètes (données de distribution et non des moyennes).

## BIBLIOGRAPHIE

### Publications de l'Anses (Agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) :

Anses (2011). Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras, en cours de finalisation.

Anses (2010). Consommation des poissons, mollusques et crustacés : aspects nutritionnels et sanitaires pour l'Homme, 190 p.

### Publications de l'Afssa (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) :

Afssa (2010 a). Avis du 1<sup>er</sup> mars 2010 relatif à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. 10 p.

Afssa (2010 b). Avis du 14 juin 2010 relatif aux bénéfices/risques liés à la consommation de poissons. 31 p.

Afssa (2009 a). Avis du 20 février 2009 sur l'estimation des apports en acides gras *trans* dans la population française. 28 p.

Afssa (2009 b). Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA2). Février 2009. 225 p.

Afssa (2005 a). Risques et bénéfices, pour la santé des acides gras *trans* apportés par les aliments. Recommandations. Avril 2005. 216 p.

Afssa (2005 b). Sécurité et bénéfices des phyto-estrogènes apportés par l'alimentation. Recommandations. Mars 2005. 440 p.

Afssa (2003). Acides gras de la famille des oméga 3 et système cardiovasculaire : intérêt nutritionnel et allégations. Juillet 2003. 123 p.

### Références bibliographiques :

AbuGhazaleh A.A., Riley M.B., Thies E.E., Jenkins T.C. (2005). Dilution Rate and pH Effects on the Conversion of Oleic Acid to *Trans* C<sub>18:1</sub> Positional Isomers in Continuous Culture. *Journal of Dairy Science* 88 (12) : 4334-4341.

AbuGhazaleh A.A., Schingoethe D.J., Hippen A.R., Kalscheur K.F. (2004). Conjugated Linoleic Acid Increases in Milk When Cows Fed Fish Meal and Extruded Soybeans for an Extended Period of Time. *Journal of Dairy Science* 87 (6) : 1758-1766.

AbuGhazaleh A.A., Schingoethe D.J., Hippen A.R., Kalscheur K.F., Whitlock L.A. (2002). Fatty Acid Profiles of Milk and Rumen Digesta From Cows Fed Fish Oil, Extruded Soybeans or Their Blend. *Journal of Dairy Science* 85 (9) : 2266-2276.

Agabriel C., Ferlay A., Journal C., Sibra C., Teissier D., Grolier P., Bonnefoy J.C., Rock E., Chilliard Y., Martin B. (2004). Composés d'intérêt nutritionnel de laits de grand mélange : teneurs en acides gras et vitamines selon l'altitude et la saison [Nutritional composition of great bulk milk : effects of season and altitude on fatty acid and vitamin composition]. *Rencontres Recherches Ruminants* 11 : 51-54.

Agrete (2006). Evolution des effectifs des animaux de l'espèce bovine. Statistique agricole annuelle définitive (2005) et semi-définitive (2006) : chiffres clés. *Données de l'Agriste*.

Ahn D.U., Sell J.L., Jo C., Chamruspollert M., Jeffrey M. (1999). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage. *Poultry Science* 78 (6) : 922-928.

Ahn D.U., Sunwoo H.H., Wolfe F.H., Sim J.S. (1995). Effects of dietary alpha-linolenic acid and strain of hen on the fatty acid composition, storage stability, and flavor characteristics of chicken eggs. *Poultry Science* 74 (9) : 1540-1547.

Ajuyah A.O., Hardin R.T., Sim J.S. (1993). Effect of dietary full-fat flax seed with and without antioxidant on the fatty acid composition of major lipid classes of chicken meats. *Poultry Science* 72 (1) : 125-136.

Akraim F., Nicot M.C., Juaneda P., Enjalbert F. (2007). Conjugated linolenic acid (CLnA), conjugated linoleic acid (CLA) and other biohydrogenation intermediates in plasma and milk fat of cows fed raw or extruded linseed. *Animal* 1 (6) : 835-843.

Akraim F., Nicot M.C., Weill P., Enjalbert F. (2006). Effects of preconditioning and extrusion of linseed on the ruminal biohydrogenation of fatty acids. 1. In vivo studies. *Animal Research* 55 (2) : 83-91.

Albar J., Coquelin C., Cazaux J.G., Royer E., Vautier A., Alibert L., Mourot J. (2006). Enquête sur la qualité technologique des tissus gras de porcs recevant des rations à base de maïs humide. *Viandes et produits carnés* 25 (3) : 83-89.

Alfonso L., Mourot J., Insausti K., Mendizabal J.A., Arana A. (2005). Comparative description of growth, fat deposition, carcass and meat quality characteristics of Basque and Large White pigs. *Animal Research* 54 (1) : 33-42.

Alonso L., Fontecha J., Lozada L., Fraga M.J., Juárez M. (1999). Fatty Acid Composition of Caprine Milk: Major, Branched-Chain, and *Trans* Fatty Acids. *Journal of Dairy Science* 82 (5) : 878-884.

(De) Andrade P.V.D. et Schmidely P. (2006 a). Effect of a duodenal infusion of trans10,cis12-CLA on milk performance and milk fatty acid profile in dairy goats fed high or low concentrate diet in combination with rolled canola seed. *Reproduction Nutrition Development* 46 (1) : 31-48.

Andrade P.V.D. et Schmidely P. (2006 b). Influence of percentage of concentrate in combination with rolled canola seeds on performance, rumen fermentation and milk fatty acid composition in dairy goats. *Livestock Science* 104 : 77-90.

Annisson E.F., Linzell J.L., Fazakerley S., Nichols B.W. (1967). The oxidation and utilization of palmitate, stearate, oleate and acetate by the mammary gland of the fed goat in relation to their overall metabolism, and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis. *Biochemical Journal* 102 : 637-647.

Astorg P., Arnault N., Czernichow S., Noisette N., Galan P., Hercberg S. (2004). Dietary intakes and food sources of n-6 and n-3 PUFA in French adult men and women. *Lipids* 39 (6) : 527-535.

Atteh J.O. et Leeson S. (1985). Response of laying hens to dietary saturated and unsaturated fatty acids in the presence of varying dietary calcium levels. *Poultry Science* 64 (3) : 520-528.

Aurousseau B., Bauchart D., Faure X., Galot A.L., Prache S., Micol D., Priolo A. (2007). Indoor fattening of lambs raised on pasture: (1) Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the *longissimus thoracis* muscle. *Meat Science* 76 (2) : 241-252.

- Arousseau B., Bauchart D., Calichon E., Micol D., Priolo A. (2004). Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the *M. longissimus thoracis* of lambs. *Meat Science* 66 (3) : 531-541.
- Badinga L., Selberg K.T., Dinges A.C., Comer C.W., Miles R.D. (2003). Dietary conjugated linoleic acid alters hepatic lipid content and fatty acid composition in broiler chickens. *Poultry Science* 82 (1) : 111-116.
- Baer D.J., Judd J.T., Clevidence B.A., Tracy R.P. (2004). Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: a randomized crossover study. *American Journal of Clinical Nutrition* 79 (6) : 969-973.
- Banks W., Clapperton J.L., Kelly M.E., Wilson A.G., Crawford R.J.M. (1980). The yield, fatty acid composition and physical properties of milk fat obtained by feeding soya oil to dairy cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31 (4) : 368-374.
- Banni S., Angioni E., Murru E., Carta G., Melis M., Bauman D., Dong Y., Ip C. (2001). Vaccenic acid feeding increases tissue levels of conjugated linoleic acid and suppresses development of premalignant lesions in rat mammary gland. *Nutrition and Cancer* 41 (1-2) : 91-97.
- Banni S., Carta G., Contini M.S., Angioni E., Deiana M., Dessi M.A., Melis M.P., Corongiu F.P. (1996). Characterization of conjugated diene fatty acids in milk, dairy products and lamb tissues. *Journal of Nutritional Biochemistry* 7 (3) : 150-155.
- Barbosa E., Oliveira C., Casal S., Soares L., Vale A.P., Lopes J.C., Oliveira B., Brito N.V. (2003). Quantification and variability of conjugated linoleic acids levels in sheep milk of two autochthonous Portuguese breeds. (EJEAFCHE) *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 2 (4) : 493-497.
- Barton-Gade P.A. (1987). Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livestock Production Science* 16 (2) : 187-196.
- Bas P., Archimède H., Rouzeau A., Sauvant D. (2003). Fatty Acid Composition of Mixed-Rumen Bacteria: Effect of Concentration and Type of Forage. *Journal of Dairy Science* 86 (9) : 2940-2948.
- Basu S., Smedman A., Vessby B. (2000). Conjugated linoleic acid induces lipid peroxidation in humans. *Federation of European Biochemical Societies (FEBS) Letters* 468 (1) : 33-36.
- Bauchart D. (2008). Tables rénovées de composition en acides gras des lipides totaux et leurs composants polaires et neutres des viandes et abats bovins. *Centre d'Information des Viandes*.
- Bauchart D. (1993). Lipid Absorption and Transport in Ruminants. *Journal of Dairy Science* 76 (12) : 3864-3881.
- Bauchart D., Roy A., Lorenz S., Chardigny J.M., Ferlay A., Gruffat D., Sébédio J.L., Chilliard Y., Durand D. (2007). Butters varying in trans 18:1 and cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid modify plasma lipoproteins in the hypercholesterolemic rabbit. *Lipids* 42 (2) : 123-133.
- Bauchart D., Gladine C., Gruffat D., Leloutre L., Durand D. (2004). Effects of diets supplemented with oil seeds and vitamin E on specific fatty acids of *rectus abdominis* muscle in Charolais fattening bulls. 55<sup>th</sup> Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Bled (Slovénie). Dans "Indicators of milk and beef quality" EAAP Publication No 112 (editors J.F. Hocquette and S. Gigli) : 431-436.
- Bauchart D., Durand D., Gruffat D. (2003). Effects of linseed-supplemented diets on specific fatty acids in total lipids and in neutral and polar components of lipids of *rectus abdominis* and *longissimus thoracis* muscles and of intermuscular adipose tissue of finishing crossbred Charolais x Salers steers. Dans : "Proceedings of 6<sup>th</sup> scientific meeting of the European Program HealthyBeef (5<sup>th</sup>PCRDR)", Juin 2003, Dublin (Irlande), 10 p.
- Bauchart D., Durand D., Martin J.F., Jailler R., Picard B., Geay Y. (2002 a). Effets de l'âge et du type de production sur les lipides des muscles *longissimus thoracis*, *semitendinosus* et *triceps brachii* de bovins de race charolaise. *Viandes et Produits Carnés*, Hors série sur les 9<sup>èmes</sup> journées des sciences du muscle et technologies de la viande : 113-114.
- Bauchart D., Durand D., Martin J.F., Jailler R., Geay Y., Picard B. (2002 b). Effets de la race et de l'âge sur les lipides des muscles *Longissimus thoracis*, *Triceps brachii* et *Semitendinosus* chez le taurillon [Effects of breed and age on lipids in muscles *Longissimus thoracis*, *Triceps brachii* and *Semitendinosus* of bulls]. *Rencontres Recherches Ruminants* 9 : 268.
- Bauchart D., De La Torre A., Durand D., Gruffat D., Peyron A. (2002 c). L'apport de graine de lin riche en acide linoléique favorise le dépôt de CLA principalement dans les triglycérides du muscle chez le bouvillon. *Viandes et Produits Carnés*, Hors série sur les 9<sup>èmes</sup> journées des sciences du muscle et technologies de la viande : 62-63.
- Bauchart D., Durand D., Razavet S., Dupont S., Scislawski V., Mouty D. (2000). Effets comparés de l'apport de graines de tournesol dans la ration à l'infusion duodénale d'huile de tournesol sur la composition en acides gras des muscles et du foie chez le bouvillon en fin d'engraissement. Journées Francophones de Nutrition, AFN/SFNEP/SNDLF, Tours, 13, 14, 15 décembre 2000 : 61.
- Bauchart D., Durand D., Gruffat-Mouty D., Piot C., Graulet B., Chilliard Y., Hocquette J.F. (1999). Transport sanguin et métabolisme tissulaire des lipides chez le veau de boucherie. Effets du remplacement du suif par de l'huile de coprah dans l'aliment d'allaitement. *INRA Productions animales* 12 (4) : 273-285.
- Bauchart D., Ortigues I., Hocquette J.F., Gruffat D., Durand D. (1996). Energy and fat metabolism of the liver, the digestive tract and muscles: Transport, processing, energy consumption, fixation by tissues. Dans « Veal: perspectives to the year 2000 ». Proceedings of the International Symposium, 12-13 septembre, Le Mans (Ed Fédération de la Vitellerie Française) : 255-290.
- Bauchart D. et Arousseau B. (1993). Digestion et métabolisme des lipides chez le veau de boucherie ; conséquences sur la composition en lipides des tissus. *Viandes et Produits Carnés* 14 (6) : 172-182.
- Bauchart D., Legay-Carmier F., Doreau M., Gaillard B. (1990). Lipid metabolism of liquid-associated and solid-adherent bacteria in rumen contents of dairy cows offered lipid-supplemented diets. *British Journal of Nutrition* 63 (3) : 563-578.
- Bauchart D. et Levieux D. (1985). Lipoprotéines plasmatiques du veau préruminant [Plasma lipoproteins of the preruminant calf]. *Reproduction Nutrition Development* 25 (1B) : 243-250.
- Bauchart D., Arousseau B., Auclair E. (1985). Addition of sorbitol to a milk substitute for veal calves. \_ I. Effects on health, growth and feed conversion. *Reproduction Nutrition Development* 25 (2) : 399-409.
- Bauchart D., Verite R., Remond B. (1984). Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. *Canadian Journal of Animal Science* 64 (Suppl.) : 330-331.
- Bauman D.E. et Griinari J.M. (2003). Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23 : 203-227.
- Bauman D.E., Barbano D.M., Dwyer D.A., Griinari J.M. (2000). Technical Note: Production of Butter with Enhanced Conjugated Linoleic Acid for Use in Biomedical Studies with Animal Models. *Journal of Dairy Science* 83 (11) : 2422-2425.

- Baumgard L.H., Corl B.A., Dwyer D.A., Saebø A., Bauman D.E. (2000). Identification of the conjugated linoleic acid isomer that inhibits milk fat synthesis. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 278 (1 47-1) : R179-R184.
- Bayourthe C., Enjalbert F., Moncoulon R. (2000). Effects of Different Forms of Canola Oil Fatty Acids Plus Canola Meal on Milk Composition and Physical Properties of Butter. *Journal of Dairy Science* 83 (4) : 690-696.
- Beam T.M., Jenkins T.C., Moate P.J., Kohn R.A., Palmquist D.L. (2000). Effects of Amount and Source of Fat on the Rates of Lipolysis and Biohydrogenation of Fatty Acids in Ruminal Contents. *Journal of Dairy Science* 83 (11) : 2564-2573.
- Beaulieu A.D. et Palmquist D.L. (1995). Differential Effects of High Fat Diets on Fatty Acid Composition in Milk of Jersey and Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 78 (6) : 1336-1344.
- Bee G. (2001). Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not de novo lipogenesis in finishing pigs. *Animal Research* 50 (5) : 383-399.
- Bell J.A., Griinari J.M., Kennelly J.J. (2006). Effect of Safflower Oil, Flaxseed Oil, Monensin, and Vitamin E on Concentration of Conjugated Linoleic Acid in Bovine Milk Fat. *Journal of Dairy Science* 89 (2) : 733-748.
- Bensadoun A. et Rothfeld A. (1972). The form of absorption of lipids in the chicken, *Gallus domesticus*. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* 141 (3) : 814-817.
- Berdeaux O., Juanéda P., Sébédio J.L. (1998). Analyse des acides gras conjugués et trans après dérivatisation [Analysis of conjugated and trans fatty acids component of the cork suberine by GC/MS]. *Analisis* 26 (3) : M45-M51.
- Bernal-Santos G., Perfield J.W. II, Barbano D.M., Bauman D.E., Overton T.R. (2003). Production Responses of Dairy Cows to Dietary Supplementation with Conjugated Linoleic Acid (CLA) During the Transition Period and Early Lactation. *Journal of Dairy Science* 86 (10) : 3218-3228.
- Bernard L., Leroux C., Chilliard Y. (2006). Characterisation and nutritional regulation of the main lipogenic genes in the ruminant lactating mammary gland. Dans "Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology and Stress" Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. (Eds.), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands : 295-326.
- Bernard L., Leroux C., Bonnet M., Rouel J., Martin P., Chilliard Y. (2005 a). Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in mammary gland and adipose tissues of lactating goats. *Journal of Dairy Research* 72 (2) : 250-255.
- Bernard L., Rouel J., Leroux C., Ferlay A., Faulconnier Y., Legrand P., Chilliard Y. (2005 b). Mammary Lipid Metabolism and Milk Fatty Acid Secretion in Alpine Goats Fed Vegetable Lipids. *Journal of Dairy Science* 88 (4) : 1478-1489.
- Bernard L., Rouel J., Ferlay A., Chilliard Y. (2005 c). Effect of concentrate level and starch degradability on milk yield and FA composition in goats receiving a diet supplemented in sunflower oil. Dans : 56<sup>th</sup> Annual Meeting Association for Animal Production, Uppsala, Sweden, 5-8 Juin 2005, Y. van der Horning Ed. Wageningen Academic Publishers (NL) : 161.
- Bernard L., Leroux C., Hayes H., Gautier M., Chilliard Y., Martin P. (2001). Characterization of the caprine stearoyl-CoA desaturase gene and its mRNA showing an unusually long 3'-UTR sequence arising from a single exon. *Gene* 281 (1-2) : 53-61.
- Bessa R.J.B., Portugal P.V., Mendes I.A., Santos-Silva J. (2005). Effect of lipid supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs fed dehydrated lucerne or concentrate. *Livestock Production Science* 96 (2-3) : 185-194.
- Bickerstaffe R., Noakes D.E., Anison E.F. (1972). Quantitative aspects of fatty acid biohydrogenation, absorption and transfer into milk in the lactating goat, with special reference to the cis- and trans-isomers of octadecenoate and linoleate. *Biochemical Journal* 130 (2) : 607-617.
- Blankson H., Stakkestad J.A., Fagertun H., Thom E., Wadstein J., Gudmundsen O. (2000). Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *Journal of Nutrition* 130 (12) : 2943-2948.
- Bligh E.G. et Dyer W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 37 (8) : 911-917.
- Bolton-Smith C., Woodward M., Fenton S., Brown C.A. (1996). Does dietary trans fatty acid intake relate to the prevalence of coronary heart disease in Scotland ? *European Heart Journal* 17 (6) : 837-845.
- Bölükbaşı Ş.C. (2006). Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) on broiler performance, serum lipoprotein content, muscle fatty acid composition and meat quality during refrigerated storage. *British Poultry Science* 47 (4) : 470-476.
- Bonneau M. (1988). Intérêt et limites de la production de viandes de porc mâle entier. *INRA Productions animales* 1 (2) : 133-140.
- Booker C.S. et Mann J.I. (2008). Trans fatty acids and cardiovascular health: translation of the evidence base. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 18 (6) : 448-456.
- Bottino N.R., Anderson R.E., Reiser R. (1970). Animal endogenous triglycerides: II. Rat and chicken adipose tissue. *Lipids* 5 (2) : 165-170.
- Bou R., Guardiola F., Barroeta A.C., Codony R. (2005). Effect of dietary fat sources and zinc and selenium supplements on the composition and consumer acceptability of chicken meat. *Poultry Science* 84 (7) : 1129-1140.
- Bougnoux P., Giraudeau B., Couet C. (2006). Diet, cancer, and the lipidome. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention* 15 (3) : 416-421.
- Bovet P., Faeh D., Madeleine G., Viswanathan B., Paccaud F. (2007). Decrease in blood triglycerides associated with the consumption of eggs of hens fed with food supplemented with fish oil. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 17 (4) : 280-287.
- Brouwer I.A., Wanders A.J., Katan M.B. (2010). Effect of animal and industrial Trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans- a quantitative review. *PLoS ONE* 5 (3) : e9434. 10 p.
- Brunschwig P., Morel d'Arleux F., Colin G., Evrard J. (1996). Effets de l'apport de tourteau de lin sur les performances de vaches laitières à l'ensilage de maïs [Effects of linseed meal on dairy cows fed maize silage]. *Rencontres Recherches Ruminants* 3 : 285-288.
- Brunschwig P., Kernen P., Weill P. (1997). Effets de l'apport d'un concentré enrichi en acides gras polyinsaturés sur les performances de vaches laitières à l'ensilage de maïs [Effects of feeding concentrate including polyunsaturated fat acids to dairy cows fed maize silage]. *Rencontres Recherches Ruminants* 4 : 361.
- Burdge G.C., Tricon S., Morgan R., Kliem K.E., Childs C., Jones E., Russell J.J., Grimble R.F., Williams C.M., Yaqoob P., Calder P.C. (2005). Incorporation of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid and vaccenic acid (trans-11 18:1) into plasma and leucocyte lipids in healthy men consuming dairy products naturally enriched in these fatty acids. *British Journal of Nutrition* 94 (2) : 237-243.

- Cabiddu A., Addis M., Pinna G., Spada S., Fiori M., Sitzia M., Pirisi A., Piredda G., Molle G. (2006 a). The inclusion of a daisy plant (*Chrysanthemum coronarium*) in dairy sheep diet. 1: Effect on milk and cheese fatty acid composition with particular reference to C18:2 cis-9, trans-11. *Livestock Science* 101 (1-3) : 57-67.
- Cabiddu A., Addis M., Pina G., Decandia M., Sitzia M., Pirreda G., Pirisi A., Molle G. (2006 b). Effect of corn and beet pulp based concentrates on sheep milk and cheese fatty acid composition when fed Mediterranean fresh forages with particular reference to conjugated linoleic acid cis-9 trans-11. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 292-311.
- Cabiddu A., Decandia M., Addis M., Piredda G., Pirisi A., Molle G. (2005). Managing Mediterranean pastures in order to enhance the level of beneficial fatty acids in sheep milk. *Small Ruminant Research* 59 (2-3 SPEC. ISS.) : 169-180.
- Calderon I., De Peters E.J., Smith N.E., Franke A.A. (1984). Composition of Goat's Milk: Changes Within Milking and Effects of a High Concentrate Diet. *Journal of Dairy Science* 67 (9) : 1905-1911.
- Camara M., Mouro J., Février C. (1996). Influence of two dairy fats on lipid synthesis in the pig: comparative study of liver, muscle and the two backfat layers. *Annals of Nutrition and Metabolism* 40 (5) : 287-295.
- Carta A., Piredda G., Addis M., Cabiddu A., Fiori M., Leroux C., Barillet F. (2003). Fatty acid composition of sheep milk from a backcross Sarda x Lacaune resource population: Preliminary QTL detection for CLA content. *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes Série A* 55 : 107-113.
- Castañeda-Gutiérrez E., Overton T.R., Butler W.R., Bauman D.E. (2005). Dietary Supplements of Two Doses of Calcium Salts of Conjugated Linoleic Acid During the Transition Period and Early Lactation. *Journal of Dairy Science* 88 (3) : 1078-1089.
- Castellini C., Dal Bosco A., Mugnai C. (2002). Effect of caecotrophy on the fatty acid profile of rabbit meat [Effetto della ciccotrofia sul profilo acidico della carne di coniglio]. *Progress in Nutrition* 4 (2) : 125-130.
- Castellini C., Dal Bosco A., Bernardini Battaglini M. (1999). Effetto dell'integrazione alimentare di acidi grassi polinsaturi della serie n-3 sulla composizione lipidica e sulla stabilità ossidativa della carne di coniglio. *Zootecnica E Nutrizione Animale* 25 : 63-70.
- Cenkvari É., Fekete S., Fébel H., Veresegyházi T., Andrásosky E. (2005). Investigations on the effects of Ca-soap of linseed oil on rumen fermentation in sheep and on milk composition of goats. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89 (3-6) : 172-178.
- Chajès V., Lavillonnière F., Maillard V., Giraudeau B., Jourdan M.L., Sébédio J.L., Bougnoux P. (2003). Conjugated linoleic acid content in breast adipose tissue of breast cancer patients and the risk of metastasis. *Nutrition and Cancer* 45 (1) : 17-23.
- Chajès V., Thiébaud A.C.M., Rotival M., Gauthier E., Maillard V., Boutron-Ruault M.C., Joulin V., Lenoir G.M., Clavel-Chapelon F. (2008). Association between serum trans-monounsaturated fatty acids and breast cancer risk in the E3N-EPIC study. *American Journal of Epidemiology* 167 (11) : 1312-1320.
- Chamruspollert M. et Sell J.L. (1999). Transfer of dietary conjugated linoleic acid to egg yolks of chickens. *Poultry Science* 78 (8) : 1138-1150.
- Chardigny J.M., Destaillets F., Malpuech-Brugère C., Moulin J., Bauman D.E., Lock A.L., Barbano D.M., Mensink R.P., Bezelgues J.B., Chaumont P., Combe N., Cristiani I., Joffre F., German J.B., Dionisi F., Boirie Y., Sébédio J.L. (2008). Do trans fatty acids from industrially produced sources and from natural sources have the same effect on cardiovascular disease risk factors in healthy subjects ? Results of the trans Fatty Acids Collaboration (TRANSFACT) study. *American Journal of Clinical Nutrition* 87 (3) : 558-566.
- Cheeke P.R. (1987). Rabbit Feeding and Nutrition. Academic Press Inc. ed., Orlando USA. 376 p.
- Cherian G. (2008). Omega 3 fatty acids: studies in avian. Dans : Wild-Type Food in Health Promotion and Disease Prevention. The Columbus Concept. R. R. Watson and F. de Meester (Eds) Humana Press : 169-178.
- Cherian G., Goeger M.P., Ahn D.U. (2002). Dietary conjugated linoleic acid with fish oil alters yolk n-3 and trans fatty acid content and volatile compounds in raw, cooked, and irradiated eggs. *Poultry Science* 81 (10) : 1571-1577.
- Cherian G., Wolfe F.W., Sim J.S. (1996). Feeding dietary oils with tocopherols: effects on internal qualities of eggs during storage. *Journal of Food Science* 61 (1) : 15-18.
- Chikunya S., Sinclair L.A., Wilkinson R.G. (2002). Influence of n-3 polyunsaturated fatty acids on milk fat and performance of lactating Friesland ewes. Dans "Winter Meeting of the British Society of Animal Production", *Animal Production* : 11A.
- Chilliard Y. (1999). Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal. Dans : Martinet J., Houdebine L.M., Head H.H. (eds) *Biology of Lactation*. INRA Editions Paris (France) : 503-552.
- Chilliard Y. (1997). Caractéristiques biochimiques des laits de chèvre. Comparaison avec le lait de vache et humain. Dans : « Intérêt Nutritionnel et Diététique du lait de chèvre ». Les Colloques de l'INRA, 81 : 53-65.
- Chilliard Y. (1993). Dietary Fat and Adipose Tissue Metabolism in Ruminants, Pigs and Rodents: A Review. *Journal of Dairy Science* 76 (12) : 3897-3931.
- Chilliard Y., Glasser F., Ferlay A., Bernard L., Rouel J., Doreau M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109 (8) : 828-855.
- Chilliard Y., Rouel J., Ferlay A., Bernard L., Gaborit P., Raynal-Ljutovac K., Lauret A., Leroux C. (2006 a). Optimising goat's milk and cheese fatty acid composition. Chapitre 12 dans "Improving the fat content of foods" (C. Williams and J. Buttriss, Eds), Woodhead Publishing Ltd. (Cambridge, UK) : 281-312.
- Chilliard Y., Rouel J., Leroux C. (2006 b). Goat's alpha-s1 casein genotype influences its milk fatty acid composition and delta-9 desaturation ratios. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 474-487.
- Chilliard Y., Pomiès D., Pradel P., Rémond B. (2006 c). La monotraite ne modifie pas la composition en acides gras du lait, chez la vache en bilan énergétique équilibré [Once daily milking does not change milk fatty acid profile in cows with an equilibrated energy balance]. *Rencontres Recherches Ruminants* 13 : 328.
- Chilliard Y., Rouel J., Guillouet P., Raynal-Lutojac K., Leloutre L., Ferlay A. (2005). Kinetics of response of goat milk fatty acids to dietary forage: concentrate ratio and/or high doses of sunflower or linseed oil, or extruded mixture of seeds. Dans : 56<sup>th</sup> Annual Meeting Association for Animal Production, Upsalla, Sweden, 5-8 Juin 2005, Y. van der Horning Ed. Wageningen Academic Publishers (NL) : 268.
- Chilliard Y. et Ferlay A. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reproduction Nutrition Development* 44 (5) : 467-492.
- Chilliard Y., Ferlay A., Rouel J., Lamberet G. (2003). A Review of Nutritional and Physiological Factors Affecting Goat Milk Lipid Synthesis and Lipolysis. *Journal of Dairy Science* 86 (5) : 1751-1770.

- Chilliard Y., Ferlay A., Loor J., Rouel J., Martin B. (2002). Trans and conjugated fatty acids in milk from cows and goats consuming pasture or receiving vegetable oils or seeds. *Italian Journal of Animal Science* 1 (4) : 243-254.
- Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M. (2001 a). Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Production Science* 70 (1-2) : 31-48.
- Chilliard Y., Ferlay A., Doreau M. (2001 b). Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : Acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *Productions animales* 14 (5) : 323-335.
- Chilliard Y., Ferlay A., Mansbridge R.M., Doreau M. (2000). Ruminant milk fat plasticity: Nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. *Annales de Zootechnie* 49 (3) : 181-205.
- Chilliard Y. et Ollier A. (1994). Alimentation lipidique et métabolisme du tissu adipeux chez les ruminants. Comparaison avec le porc et les rongeurs. *INRA Productions animales* 7 (4) : 293-308.
- Chilliard Y., Doreau M., Gagliostro G., Elmeddah Y. (1993). Addition de lipides protégés (encapsulés ou savons de calcium) à la ration de vaches laitières. Effets sur les performances et la composition du lait. *INRA Productions animales* 6 (2) : 139-150.
- Chilliard Y., Bauchart D., Gagliostro G., Ollier A., Vermorel M. (1991 a). Duodenal Rapeseed Oil Infusion in Early and Midlactation Cows. 1. Intestinal Apparent Digestibility of Fatty Acids and Lipids. *Journal of Dairy Science* 74 (2) : 490-498.
- Chilliard Y., Gagliostro G., Flechet J., Lefaivre J., Sebastian I. (1991 b). Duodenal Rapeseed Oil Infusion in Early and Midlactation Cows. 5. Milk Fatty Acids and Adipose Tissue Lipogenic Activities. *Journal of Dairy Science* 74 (6) : 1844-1854.
- Chouinard P.Y., Corneau L., Butler W.R., Bauman D.E., Chilliard Y., Drackley J.K. (2001). Effect of Dietary Lipid Source on Conjugated Linoleic Acid Concentrations in Milk Fat. *Journal of Dairy Science* 84 (3) : 680-690.
- Chouinard P.Y., Girard V., Brisson G.J. (1997 a). Performance and Profiles of Milk Fatty Acids of Cows Fed Full Fat, Heat-Treated Soybeans Using Various Processing Methods. *Journal of Dairy Science* 80 (2) : 334-342.
- Chouinard P.Y., Lévesque J., Girard V., Brisson G.J. (1997 b). Dietary Soybeans Extruded at Different Temperatures: Milk Composition and In Situ Fatty Acid Reactions. *Journal of Dairy Science* 80 (11) : 2913-2924.
- Christie B., Sébédio J.L., Juanéda P. (2001). A practical guide to analysis of conjugated linoleic acid. *INFORM- International News on Fats, Oils and related Materials* 12 (2) : 147-152.
- Clapperton J.L. (1978). Biohydrogenation of protected soya-bean-oil in sheep fed a low-fibre diet. *Proceedings of the Nutrition Society* 37 (3) : 65A.
- Clinquart A., Micol D., Brundseaux C., Dufrasne I., Istasse L. (1995). Utilisation des matières grasses chez les bovins à l'engraissement. *INRA Productions animales* 8 (1) : 29-42.
- Collomb M., Sieber R., Bütikofer U. (2004). CLA isomers in milk fat from cows fed diets with high levels of unsaturated fatty acids. *Lipids* 39 (4) : 355-364.
- Colin M., Raguene N., Le Berre G., Charrier S., Priogent A.Y., Perrin G. (2005). Influence d'un enrichissement de l'aliment en acides oméga 3 provenant de graines de lin extrudées (Tradi-Lin®) sur les lipides et les caractéristiques hédoniques de la viande de lapin. 11<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 novembre 2005, Paris : 163-166.
- Combe N. et Boué C. (2001). Apports alimentaires en acides linoléique et alpha-linolénique d'une population d'Aquitaine. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 8 (2) : 118-121.
- Combes S. (2004). Valeur nutritionnelle de la viande de lapin. *INRA Productions animales* 17 (5) : 373-383.
- Combes S. et Cauquil L. (2006). Viande de lapin et oméga 3 : Une alimentation riche en luzerne permet d'enrichir la viande des lapins en oméga 3. *Viandes et Produits Carnés* 25 (2) : 31-35.
- Corino C., Musella M., Mourot J. (2008). Influence of extruded linseed on growth, carcass composition and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of liveweight. *Journal of Animal Science* 86 (8) : 1850-1860.
- Corino C., Pastorelli G., Douard V., Rossi R., Musella M., Mourot J. (2006). L'acide linoléique conjugué en nutrition porcine [Conjugated linoleic acid in pig nutrition]. *Productions animales* 19 (1) : 39-46.
- Corino C., Magni S., Pastorelli G., Rossi R., Mourot J. (2003). Effect of conjugated linoleic acid on meat quality, lipid metabolism, and sensory characteristics of dry-cured hams from heavy pigs. *Journal of Animal Science* 81 (9) : 2219-2229.
- Cortinas L., Villaverde C., Galobart J., Baucells M.D., Codony R., Barroeta A.C. (2004). Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science* 83 (7) : 1155-1164.
- Cotterill O.J., Marion W.W., Naber E.C. (1977). A nutrient re-evaluation of shell eggs. *Poultry Science* 56 (6) : 1927-1934.
- Couvreur S., Hurtaud C., Marnet P.G., Faverdin P., Peyraud J.L. (2007). Composition of Milk Fat from Cows Selected for Milk Fat Globule Size and Offered Either Fresh Pasture or a Corn Silage-Based Diet. *Journal of Dairy Science* 90 (1) : 392-403.
- Couvreur S., Hurtaud C., Lopez C., Delaby L., Peyraud J.L. (2006). The Linear Relationship Between the Proportion of Fresh Grass in the Cow Diet, Milk Fatty Acid Composition, and Butter Properties. *Journal of Dairy Science* 89 (6) : 1956-1969.
- Czerkawski J.W. et Clapperton J.L. (1984). Fats as energy-yielding compounds in the ruminant diet. Dans "Fats in animal nutrition", Éd. : Wiseman J., Butterworths, Boston, MA : 249.
- Dal Bosco A., Castellini C., Bianchi L., Mugnai C. (2004). Effect of dietary  $\alpha$ -linolenic acid and vitamin E on the fatty acid composition, storage stability and sensory traits of rabbit meat. *Meat Science* 66 : 407-413.
- Dannenberger D., Nuernberg K., Nuernberg G., Scollan N., Steinhart H., Ender K. (2005). Effect of pasture vs concentrate diet on CLA isomer distribution in different tissue lipids of beef cattle. *Lipids* 40 (6) : 589-598.
- Dannenberger D., Nuernberg G., Scollan N., Schabbel W., Steinhart H., Ender K., Nuernberg K. (2004). Effect of diet on the deposition of n-3 fatty acids, conjugated linoleic and C18:1 trans fatty acid isomers in muscle lipids of German Holstein bulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52 (21) : 6607-6615.
- Davey R.J. et Bereskin B. (1978). Genetic and nutritional effects on carcass chemical composition and organ weights of marked swine. *Journal of Animal Science* 46 : 992-1000.
- Dawson R.M.C., Hemington N., Grime D., Lander D., Kemp P. (1974). Lipolysis and hydrogenation of galactolipids and the accumulation of phytanic acid in the rumen. *Biochemical Journal* 144 (1) : 169-171.

- Delaby L., Rulquin H., Peyraud J.L. (2002). Influence de quelques facteurs zootechniques sur la composition en acides gras du lait de vaches au pâturage [Effect of some zootechnical factors on the milk fatty acid composition of dairy cows at grazing]. *Rencontres Recherches Ruminants* 9 : 364.
- Delagarde R. et Peyraud J.L. (2002). Fatty acid composition of milk from dairy cows as affected by grazing different grass species or cultivars. Multi-function grasslands: quality forages, animal products and landscapes. Proceedings of the 19<sup>th</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, La Rochelle, France, 27-30 Mai 2002 : 554-555.
- De La Torre A., Gruffat D., Durand D., Micol D., Peyron A., Scislowski V., Bauchart D. (2006). Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Science* 73 (2) : 258-268.
- De Meester F. et Watson R.R. (Eds.) (2008). Wild-type Food in Health Promotion and Disease Prevention. The Columbus Concept. Humana Press. 574 p.
- Destailats F., Trottier J.P., Galvez J.M.G., Angers P. (2005). Analysis of  $\alpha$ -Linolenic Acid Biohydrogenation Intermediates in Milk Fat with Emphasis on Conjugated Linolenic Acids. *Journal of Dairy Science* 88 (9) : 3231-3239.
- Destailats F., Wolff R.L., Precht D., Molkentin J. (2000). Study of individual trans- and cis-16:1 isomers in cow, goat, and ewe cheese fats by gas-liquid chromatography with emphasis on the trans- $\Delta^3$  isomer. *Lipids* 35 (9) : 1027-1032.
- De Veth M.J., Castañeda-Gutiérrez E., Dwyer D.A., Pfeiffer A.M., Putnam D.E., Bauman D.E. (2006). Response to Conjugated Linoleic Acid in Dairy Cows Differing in Energy and Protein Status. *Journal of Dairy Science* 89 (12) : 4620-4631.
- De Veth M.J., Gulati S.K., Luchini N.D., Bauman D.E. (2005). Comparison of Calcium Salts and Formaldehyde-Protected Conjugated Linoleic Acid in Inducing Milk Fat Depression. *Journal of Dairy Science* 88 (5) : 1685-1693.
- De Veth M.J., Griinari J.M., Pfeiffer A.M., Bauman D.E. (2004). Effect of CLA on milk fat synthesis in dairy cows: Comparison of inhibition by methyl esters and free fatty acids, and relationships among studies. *Lipids* 39 (4) : 365-372.
- Dewhurst R.J., Shingfield K.J., Lee M.R.F., Scollan N.D. (2006). Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 168-206.
- Dewhurst R.J., Fisher W.J., Tweed J.K.S., Wilkins R.J. (2003 a). Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *Journal of Dairy Science* 86 (8) : 2598-2611.
- Dewhurst R.J., Evans R.T., Scollan N.D., Moorby J.M., Merry R.J., Wilkins R.J. (2003 b). Comparison of Grass and Legume Silages for Milk Production. 2. In Vivo and In Sacco Evaluations of Rumen Function. *Journal of Dairy Science* 86 (8) : 2612-2621.
- Dhiman T.R., Satter L.D., Pariza M.W., Galli M.P., Albright K., Tolosa M.X. (2000). Conjugated Linoleic Acid (CLA) Content of Milk from Cows Offered Diets Rich in Linoleic and Linolenic Acid. *Journal of Dairy Science* 83 (5) : 1016-1027.
- Dhiman T.R., Anand G.R., Satter L.D., Pariza M.W. (1999). Conjugated Linoleic Acid Content of Milk from Cows Fed Different Diets. *Journal of Dairy Science* 82 (10) : 2146-2156.
- Dhiman T.R., Zanten K.V., Satter L.D. (1995). Effect of dietary fat source on fatty acid composition of cow's milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 69 (1) : 101-107.
- Diaz M.T., Velasco S., Cañeque V., Lauzurica S., Ruiz de Huidobro F., Pérez C., González J., Manzanares C. (2002). Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Ruminant Research* 43 (3) : 257-268.
- Dobarganes García C., Pérez Hernández M., Cantalapiedra G., Salas J.M., Merino J.A. (2005). Bypassing the Rumen in Dairy Ewes: The Reticular Groove Reflex vs. Calcium Soap of Olive Fatty Acids. *Journal of Dairy Science* 88 (2) : 741-747.
- Doreau M., Lee M.R.F., Ueda K., Scollan N.D. (2005). Métabolisme ruminal et digestibilité des acides gras des fourrages [Ruminal metabolism and absorption of fatty acids from forages]. *Rencontres Recherches Ruminants* 12 : 101-104.
- Doreau M. et Poncet C. (2000). Ruminal biohydrogenation of fatty acids originating from fresh or preserved grass. *Reproduction Nutrition Development, second joint INRA-RRI Gastrointestinal Tract Microbiology Symposium, Challenges for microbial digestive ecology at the beginning of the third millennium* 40 : 201.
- Doreau M. et Chilliard Y. (1999). Un cas atypique de chute du taux butyreux du lait avec une supplémentation de matières grasses végétales [An atypical case of butterfat drop with diets supplemented with vegetable fat]. *Rencontres Recherches Ruminants* 6 : 314.
- Doreau M. et Chilliard Y. (1997 a). Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition* 78 (suppl. 1) : S15-S35.
- Doreau M. et Chilliard Y. (1997 b). Effects of ruminal or post-ruminal fish oil supplementation on intake and digestion in dairy cows. *Reproduction Nutrition Development* 37 (1) : 113-124.
- Doreau M. et Ferlay A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 45 (3-4) : 379-396.
- Doreau M., Chilliard Y., Bauchart D., Michalet-Doreau B. (1991). Influence of different fat supplements on digestibility and ruminal digestion in cows. *Annales de Zootechnie* 40 : 19-30.
- Drackley J.K., Beaulieu A.D., Elliott J.P. (2001). Responses of Milk Fat Composition to Dietary Fat or Nonstructural Carbohydrates in Holstein and Jersey Cows. *Journal of Dairy Science* 84 (5) : 1231-1237.
- Du M. et Ahn D.U. (2002). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the growth rate of live birds and on the abdominal fat content and quality of broiler meat. *Poultry Science* 81 (3) : 428-433.
- Du M., Ahn D.U., Nam K.C., Sell J.L. (2000). Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. *Meat Science* 56 (4) : 387-395.
- Duckett S.K., Andrae J.G., Owens F.N. (2002). Effects of high-oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science* 80 (12) : 3353-3360.
- Durand D., Scislowski V., Chilliard Y., Gruffat D., Bauchart D. (2005). High fat rations and lipid peroxidation in ruminants; consequences on animal health and quality of products. Dans "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Academic Publishers : 137-150.
- Elgersma A., Tamminga S., Ellen G. (2006). Modifying milk composition through forage. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 207-225.
- Elgersma A., Ellen G., van der Horst H., Boer H., Dekker P.R., Tamminga S. (2004). Quick changes in milk fat composition from cows after transition from fresh grass to a silage diet. *Animal Feed Science and Technology* 117 (1-2) : 13-27.

- Ellis K.A., Innocent G., Grove-White D., Cripps P., McLean W.G., Howard C.V., Mihm M. (2006). Comparing the Fatty Acid Composition of Organic and Conventional Milk. *Journal of Dairy Science* 89 (6) : 1938-1950.
- Enjalbert F. (1995). Les lipides dans l'alimentation des ruminants. 2. Particularités de l'utilisation digestive. *Revue de Médecine Vétérinaire* 146 (6) : 383-392.
- Enjalbert F., Nicot M.C., Bayourthe C., Moncoulon R. (1998). Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. *Journal of Nutrition* 128 (9) : 1525-1532.
- Enser M., Scollan N.D., Choi N.J., Kurt E., Hallet K., Wood J.D. (1999). Effect of dietary lipid on the content of conjugated linoleic acid (CLA) in beef muscle. *Animal Science* 69 (1) : 143-146.
- Erasmus L.J., Bester Z., Fourie T., Coertze R.J., Hall L. (2004). Effect of level of rumen protected CLA supplementation on milk yield and composition in Saanen goats. *South African Journal of Animal Sciences* 34 (suppl 1) : 42-45.
- Eulitz K., Yurawecz M.P., Sehat N., Fritsche J., Roach J.A.G., Mossoba M.M., Kramer J.K.G., Adlof R.O., Ku Y. (1999). Preparation, separation, and confirmation of the eight geometrical *cis/trans* conjugated linoleic acid isomers 8,10- through 11,13-18:2. *Lipids* 34 (8) : 873-877.
- Fekete S. (1988). Recent findings and future perspectives of rabbit's digestive physiology. Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Budapest (Hungary), Octobre 1988, WRSA ed., vol. 2 : 327-344.
- Ferlay A., Agabriel C., Sibra C., Journal C., Martin B., Chilliard Y. (2008). Tanker milk variability in fatty acids according to farm feeding and husbandry practices in a French semi-mountain area. *Dairy Science and Technology* 88 (2) : 193-215
- Ferlay A., Martin B., Pradel P., Coulon J.B., Chilliard Y. (2006). Influence of Grass-Based Diets on Milk Fatty Acid Composition and Milk Lipolytic System in Tarentaise and Montbéliarde Cow Breeds. *Journal of Dairy Science* 89 (10) : 4026-4041.
- Ferlay A., Capitan P., Ollier A., Chilliard Y. (2003 a). Interactions between nature of forage and oil supplementation on cow milk composition. 3. Effects on kinetics and percentages of milk CLA and trans fatty acids. Dans : Book of abstracts of the 54<sup>th</sup> Annual Meeting of European Association for Animal Production, Rome, Italy, 31 août-3 septembre 2003. Y. van der Honing (ed), Wageningen Academic Publishers, Wageningen (The Netherlands) : 120.
- Ferlay A., Rouel J., Chabosseau J.M., Capitan P., Raynal-Ljutovac K., Chilliard Y. (2003 b). Interaction between ray-grass preservation and high oleic sunflower oil supplementation on goat milk composition including trans and conjugated fatty acids. Dans 54<sup>th</sup> Annual Meeting of European Association for Animal Production, Rome, Italy, 31 août-3 septembre 2003, Y van der Horning Ed., Wageningen Academic Publishers, Wageningen (The Netherlands) : 350.
- Ferlay A., Verdier-Metz I., Pradel P., Martin B., Van der Horst H., Ballot N., Chilliard Y. (2002 a). Effets respectifs d'une alimentation à base d'herbe et de la transformation fromagère sur la composition en acides gras d'intérêt nutritionnel de fromages de type Saint-Nectaire ou Cantal [Respective effects of grass feeding and cheese making on the composition of fatty acids of nutritional value in Saint-Nectaire and Cantal-type cheeses]. *Rencontres Recherches Ruminants* 9 : 367.
- Ferlay A., Andrieu J.P., Pomiès D., Martin-Rosset W., Chilliard Y. (2002 b). Effet de l'ensilage enrubbanné d'herbe de demi-montagne sur la composition en acides gras d'intérêt nutritionnel du lait de vache [Effect of semi-natural grassland wrapped haylage on composition of cow milk fatty acids having nutritional interest]. *Rencontres Recherches Ruminants* 9 : 365.
- Ferlay A., Chabrot J., Elmeddah Y., Doreau M. (1993). Ruminant lipid balance and intestinal digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *Journal of Animal Science* 71 (8) : 2237-2245.
- Ferlay A., Chilliard Y., Doreau M. (1992). Effects of calcium salts differing in fatty acid composition on duodenal and milk fatty acid profiles in dairy cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60 (1) : 31-37.
- Fernández C., Cobos A., Fraga M.J. (1994). The effect of fat inclusion on diet digestibility in growing rabbits. *Journal of Animal Science* 72 (6) : 1508-1515.
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourou J., Lebret B. (1999). Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat-1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of m. *longissimus lumborum*. *Meat Science* 53 (1) : 59-65.
- Février C. et Mourou J. (1989). Conséquences de la libre consommation de céréales et de lait de vache sur la couverture des besoins énergétiques et protéiques et sur la qualité des lipides corporels du porc en croissance. 21<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine : 13-22.
- Fisher K. (2001). Einfluss der Fütterung nach Richtlinien des ökologischen Landbaus auf die Schweinefleischqualität. *Fleischwirtschaft*, 81 : 85-88.
- Flanzy J., François A.C., Rérat A. (1970). Utilisation métabolique des acides gras chez le porc. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique* 10 (4) : 603-620.
- Focant M., Mignolet E., Marique M., Clabots F., Breyne T., Dalemans D., Larondelle Y. (1998). The Effect of Vitamin E Supplementation of Cow Diets Containing Rapeseed and Linseed on the Prevention of Milk Fat Oxidation. *Journal of Dairy Science* 81 (4) : 1095-1101.
- Folch J., Lees M., Sloane Stanley G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry* 226 (1) : 497-509.
- Freeman C.P. (1984). The digestion, absorption and transport of fats – non-ruminants. Dans : "fat animal nutrition", Wiseman J., Ed., Butterworth London publishers : 105-122.
- Fritsche J. et Steinhart H. (1997). Contents of *trans* fatty acids (TFA) in German foods and estimation of daily intake. *Lipid/Fett* 99 (9) : 314-318.
- Fuller M.F., Duncan W.R.H., Boyne A.W. (1974). Effect of environmental temperature on the degree of unsaturation of depot fats of pigs given different amounts of food. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 25 (2) : 205-210.
- Gagliostro G.A., Rodriguez A., Pellegrini P.A., Gatti P., Muset G., Castañeda R.A., Colombo D., Chilliard Y. (2006). Efectos del suministro de aceite de pescado solo en combinación con aceite de girasol sobre las concentraciones de ácido linoleico conjugado (CLA) y omega 3 (n-3) en leche de cabra [Effects of fish oil or sunflower plus fish oil supplementation on conjugated linoleic acid (CLA) and omega 3 fatty acids in goat milk]. *Revista Argentina de Producción Animal* 26 : 71-87.
- Gagliostro G., Chilliard Y., Davicco M.J. (1991). Duodenal Rapeseed Oil Infusion in Early and Midlactation Cows. 3. Plasma Hormones and Mammary Apparent Uptake of Metabolites. *Journal of Dairy Science* 74 (6) : 1893-1903.
- Garton G.A., Hobson P.N., Lough A.K. (1958). Lipolysis in the rumen. *Nature* 182 (4648) : 1511-1512.

- Gaullier J.M., Halse J., Høye K., Kristiansen K., Fagertun H., Vik H., Gudmundsen O. (2004). Conjugated linoleic acid supplementation for 1 y reduces body fat mass in healthy overweight humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 79 (6) : 1118-1125.
- Gervais R., Spratt R., Léonard M., Chouinard P.Y. (2005). Lactation response of cows to different levels of ruminally inert conjugated linoleic acids under commercial conditions. *Canadian Journal of Animal Science* 85 (2) : 231-242.
- Gibson J.P. (1991). The Potential for Genetic Change in Milk Fat Composition. *Journal of Dairy Science* 74 (9) : 3258-3266.
- Gidenne T. (1996). Nutritional and ontogenic factors affecting rabbit caeco-colic digestive physiology. Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Toulouse (France), AFC ed. vol. 1 : 13-28.
- Giesy J.G., McGuire M.A., Shafii B., Hanson T.W. (2002). Effect of Dose of Calcium Salts of Conjugated Linoleic Acid (CLA) on Percentage and Fatty Acid Content of Milk Fat in Midlactation Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 85 (8) : 2023-2029.
- Gigaud V. et Le Cren D. (2006). Valeur nutritionnelle de la viande de lapin et influence du régime alimentaire sur la composition en AG. Journée nationale ITAVI Élevage du Lapin de Chair, Pacé, Novembre 2006 : 45-57.
- Girard J.P., Bout J., Salort D. (1988). Lipides et qualité du tissu adipeux, facteurs de variation. I. Lipides et qualité du tissu adipeux. II. Lipides et qualité du tissu musculaire. Journées de la Recherche Porcine en France, 20 : 255-278.
- Givens D.I. et Shingfield K.J. (2006). Optimizing dairy milk fatty acid composition. Dans "Improving the fat content of foods", C. Williams and J. Buttriss (ed.), Woodhead Publishing Limited, Cambridge (UK) : 252-280.
- Glasser F., Ferlay A., Chilliard Y. (2008 a). Composition en AG du lait de vache : base de données bibliographiques sur l'effet des facteurs alimentaires. INRA-Theix, UR Herbivores, Equipe Tissu Adipeux et Lipides du Lait.
- Glasser F., Ferlay A., Chilliard Y. (2008 b). Oilseed Lipid Supplements and Fatty Acid Composition of Cow Milk: a Meta-Analysis. *Journal of Dairy Science* 91 (12) : 4687-4703.
- Glasser F., Doreau M., Ferlay A., Looor J.J., Chilliard Y. (2007). Milk fatty acids: Mammary synthesis could limit transfer from duodenum in cows. *European Journal of lipid science and technology* 109 (8) : 817-827.
- Gómez-Conde M.S., Chamorro S., Menoyo D., García-Rebollar P., de Blas C. (2004). Effects of source of fibre on fat composition and fat recycling with caecotrophes. Proceedings of the 8<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Puebla (Mexico), Septembre 2004, WRSA ed. : 864.
- Gondret F. (1998). Lipides intramusculaires et qualité de la viande de lapin. 7<sup>èmes</sup> Journées de Recherche Cunicole, Paris, France, 13-14 mai : 101-109.
- Gonthier C., Mustafa A.F., Ouellet D.R., Chouinard P.Y., Berthiaume R., Petit H.V. (2005). Feeding Micronized and Extruded Flaxseed to Dairy Cows: Effects on Blood Parameters and Milk Fatty Acid Composition. *Journal of Dairy Science* 88 (2) : 748-756.
- Gonzalez-Esquerria R. et Leeson S. (2000). Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *British Poultry Science* 41 (4) : 481-488.
- Goodridge J. et Ingalls J.R. (1998). Transfer of omega-3 linolenic acid from flaxseed to milkfat. American Dairy Science Association and American Society of Animal Science joint meeting. Denver, Colorado, USA, 28-31 juillet 1998. *Journal of Animal Science* 76 (suppl 1) 1383 : 353.
- Goudjil H., Fontecha J., Luna P., De La Fuente M.A., Alonso L., Juárez M. (2004). Quantitative characterization of unsaturated and trans fatty acids in ewe's milk fat. *Lait* 84 (5) : 473-482.
- Griffin H.D., Guo K., Windsor D., Butterwith S.C. (1992). Adipose tissue lipogenesis and fat deposition in leaner broiler chickens. *Journal of Nutrition* 122 (2) : 363-368.
- Griffin H., Grant G., Perry M. (1982). Hydrolysis of plasma triacylglycerol-rich lipoproteins from immature and laying hens (*Gallus domesticus*) by lipoprotein lipase in vitro. *Biochemical Journal* 206 (3) : 647-654.
- Griinari J.M. et Bauman D.E. (2006). Milk fat depression: concepts, mechanisms and management applications. Dans "Ruminant physiology: Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress", Sejrsen K., Hvelplund T., Nielsen M.O. (Eds), Wageningen Academic Publishers (The Netherlands) : 389-417.
- Griinari J.M. et Bauman D.E. (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid. Dans "Advances in conjugated linoleic acid research", Vol 1, Eds : Yurawecz M.P., Mossoba M.M., Kramer J.K.G., Pariza M.W. et Nelson G.J., AOCS Press, Champaign, IL, USA : 180-200.
- Griinari J.M., Dwyer D.A., McGuire M.A., Bauman D.E., Palmquist D.L., Nurmela K.V.V. (1998). Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81 (5) : 1251-1261.
- Grosclaude F., Ricordeau G., Martin P., Remeuf F., Vassal L., Bouillon J. (1994). Du gène au fromage : le polymorphisme de la caséine  $\alpha$ s1 caprine, ses effets, son évolution. *INRA Productions animales* 7 (1) : 3-19.
- Gruffat D., Rémond C., Durand D., Loreau O., Bauchart D. (2006). Les tissus adipeux, notamment intermusculaires, sont le siège de la synthèse et de la bioconversion du 9cis, 11trans CLA chez le bouvillon. *Viandes et Produits carnés*, Hors série sur les 11<sup>èmes</sup> journées des sciences du muscle et technologies de la viande : 107-108.
- Grune T., Krämer K., Hoppe P.P., Siems W. (2001). Enrichment of eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids: effects of vitamin E supplementation. *Lipids* 36 (8) : 833-838.
- Guéblez R., Sellier P., Runavot J.P. (1993). Comparaison des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des tissus maigre et gras de trois races porcines françaises (Large White, Landrace Français et Piétrain). 2. Caractéristiques de la bardière. Journées de la Recherche Porcine en France, 25 : 23-28.
- Guillevic M., Le Minous A.E., Blochet J.E., Damon M., Mouro J. (2007). Effet de rations enrichies en acides gras oméga 3 ou oméga 6 chez le porc : impacts sur la qualité nutritionnelle et la qualité sensorielle des produits transformés. Journées de la Recherche Porcine, 39 : 223-230.
- Gulati S.K., Garg M.R., Scott T.W. (2005). Rumen protected protein and fat produced from oilseeds and/or meals by formaldehyde treatment; their role in ruminant production and product quality: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45 (10) : 1189-1203.
- Gulati S.K., Kitessa S.M., Ashes J.R., Fleck E., Byers E.B., Byers Y.G., Scott T.W. (2000). Protection of conjugated linoleic acids from ruminal hydrogenation and their incorporation into milk fat. *Animal Feed Science and Technology* 86 (3-4) : 139-148.
- Gulati S.K., Ashes J.R., Scott T.W. (1999). Hydrogenation of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids and their incorporation into milk fat. *Animal Feed Science and Technology* 79 (1-2) : 57-64.
- Gulati S.K., Byers E.B., Byers Y.G., Ashes J.R., Scott T.W. (1997). Effect of feeding different fat supplements on the fatty acid composition of goat milk. *Animal Feed Science and Technology* 66 (1-4) : 159-164.

- Han S.N., Leka L.S., Lichtenstein A.H., Ausman L.M., Schaefer E.J., Meydani S.N. (2002). Effect of hydrogenated and saturated, relative to polyunsaturated, fat on immune and inflammatory responses of adults with moderate hypercholesterolemia. *Journal of Lipid Research* 43 (3) : 445-452.
- Hansson I., Hamilton C., Ekman T., Forslund K. (2000). Carcass quality in certified organic production compared with conventional livestock production. *Journal of Veterinary Medicine, Series B: Infectious diseases and veterinary public health* 47 (2) : 111-120.
- Harfoot C.G. et Hazlewood G.P. (1988). Lipid metabolism in the rumen. Dans "The rumen microbial ecosystem", Ed. Hobson P.N., Elsevier, Barking, UK. : 285-322.
- Harfoot C.G., Noble R.C., Moore J.H. (1973). Factors influencing the extent of biohydrogenation of linoleic acid by Rumen micro-organisms *in vitro*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24 (8) : 961-970.
- Harvatine K.J. et Allen M.S. (2006). Effects of Fatty Acid Supplements on Ruminant and Total Tract Nutrient Digestion in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 89 (3) : 1092-1103.
- Hawke J.C. et Silcock W.R. (1969). Lipolysis and hydrogenation in the rumen. *Biochemical Journal* 112 (1) : 131-132.
- Henry Y. (1977). Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le porc : influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage [Morphological and metabolic development of adipose tissue in the pig as affected by selection, feeding and management]. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique* 17 (5 B) : 923-952.
- Herber S.M. et Van Elswyk M.E. (1996). Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poultry Science* 75 (12) : 1501-1507.
- Hermier D., Salichon M.R., Guy G., Peresson R., Mourou J., Lagarrigue S. (1999). La stéatose hépatique des palmipèdes gavés : bases métaboliques et sensibilité génétique. *INRA Productions animales* 12 (4) : 265-271.
- Heyer A. et Lebret B. (2007). Compensatory growth response in pigs: Effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *Journal of Animal Science* 85 (3) : 769-778.
- Houssin B., Chenais F., Hardy A. (2005). Utilisation du foin par les vaches laitières. Influence sur les performances zootechniques, sur la composition de la matière grasse du lait et sur les qualités organoleptiques des camemberts [Use of hay by dairy cows. Effect on animal performances, fat composition and the organoleptic and nutritional qualities of camembert cheeses]. *Rencontres Recherches Ruminants* 12 : 414.
- Huang Z.B., Leibovitz H., Lee C.M., Millar R. (1990). Effect of dietary fish oil on  $\omega$ -3 fatty acid levels in chicken eggs and thigh flesh. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38 (3) : 743-747.
- Hulan H.W., Ackman R.G., Ratnayake W.M., Proudfoot F.G. (1989). Omega-3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poultry Science* 68 (1) : 153-162.
- Hulshof K.F.A.M., Van Erp-Baart M.A., Anttolainen M., Becker W., Church S.M., Couet C., Hermann-Kunz E., Kesteloot H., Leth T., Martins I., Moreiras O., Moschandreas J., Pizzoferrato L., Rimestad A.H., Thorgeirsdottir H., Van Amelsvoort J.M.M., Aro A., Kafatos A.G., Lanzmann-Petithory D., Van Poppel G. (1999). Intake of fatty acids in Western Europe with emphasis on trans fatty acids: the TRANSFAIR study. *European Journal of Clinical Nutrition* 53 (2) : 143-157.
- Impemba G., Cifuni G.F., Di Trana A. (2005). Influence of feeding system, stage of lactation and genetic types on  $\Delta$ 9-desaturase activity in caprine milk. Dans "Advanced nutrition and feeding strategies to improve sheep and goat", Priolo A. (ed.), Biondi L. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Morand-Fehr P. (ed.). Zaragoza : CIHEAM-IAMZ : 147-152.
- Institut de l'élevage (2008 a). Productions caprines : Lait et Viande : Chiffres Clés, 2008.
- Institut de l'élevage (2008 b). Productions ovines : Lait et Viande : Chiffres Clés, 2008.
- Ip C. (1997). Review of the effects of trans fatty acids, oleic acid, n-3 polyunsaturated fatty acids, and conjugated linoleic acid on mammary carcinogenesis in animals. *American Journal of Clinical Nutrition* 66 (6 suppl.) : 1523S-1529S.
- Jahreis G., Fritsche J., Möckel P., Schöne F., Möller U., Steinhart H. (1999). The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acids, *cis*-9, *trans*-11 C18:2, in milk of different species: Cow, goat, ewe, sow, mare, woman. *Nutrition Research* 19 (10) : 1541-1549.
- Jahreis G., Fritsche J., Steinhart H. (1997). Conjugated linoleic acid in milk fat: High variation depending on production system. *Nutrition Research* 17 (9) : 1479-1484.
- Jakobsen M.U., Overvad K., Dyerberg J., Heitmann B.L. (2008). Intake of ruminant trans fatty acids and risk of coronary heart disease. *International Journal of Epidemiology* 37 (1) : 173-182.
- Jenkins T.C. (1998). Fatty Acid Composition of Milk from Holstein Cows Fed Oleamide or Canola Oil. *Journal of Dairy Science* 81 (3) : 794-800.
- Jenkins K.J. et Kramer J.K.G. (1986). Influence of Low Linoleic and Linolenic Acids in Milk Replacer on Calf Performance and Lipids in Blood Plasma, Heart, and Liver. *Journal of Dairy Science* 69 (5) : 1374-1386.
- Jenkins K.J., Kramer J.K.G., Emmons D.B. (1986). Effect of Lipids in Milk Replacers on Calf Performance and Lipids in Blood Plasma, Liver, and Perirenal Fat. *Journal of Dairy Science* 69 (2) : 447-459.
- Jensen R.G. (2002). The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of Dairy Science* 85 (2) : 295-350.
- Jensen R.G., Lammi-Keefe C.J., Koletzko B. (1997). Representative sampling of human milk and the extraction of fat for analysis of environmental lipophilic contaminants. *Toxicological and Environmental Chemistry* 62 (1-4) : 229-247.
- Jiang Z.R., Ahn D.U., Sim J.S. (1991). Effects of feeding flax and two types of sunflower seeds on fatty acid compositions of yolk lipid classes. *Poultry Science* 70 (12) : 2467-2475.
- Journet M. et Chilliard Y. (1985). Influence de l'alimentation sur la composition du lait. 1. Taux butyreux: facteurs généraux. Bulletin Technologique CRZV, INRA Theix 60 : 13-23.
- Juanéda P. (2002). Utilisation of reversed-phase high-performance liquid chromatography as an alternative to silver-ion chromatography for the separation of *cis*- and *trans*-C18:1 fatty acid isomers. *Journal of Chromatography A* 954 (1-2) : 285-289.
- Juanéda P., Ledoux M., Sébédio J.L. (2007). Analytical methods for determination of trans fatty acid content in food. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109 (9) : 901-917.
- Juanéda P., Sébédio J.L., Christie W.W. (1994). Complete separation of the geometrical isomers of linolenic acid by high performance liquid chromatography with a silver ion column. *Journal of High Resolution Chromatography* 17 (5) : 321-324.
- Jurjanz S., Monteils V., Juanéda P., Laurent F. (2004). Variations of trans octadecenoic acid in milk fat induced by feeding different starch-based diets to cows. *Lipids* 39 (1) : 19-24.

- Kalscheur K.F., Teter B.B., Piperova L.S., Erdman R.A. (1997). Effect of Dietary Forage Concentration and Buffer Addition on Duodenal Flow of *Trans*-C<sub>18:1</sub> Fatty Acids and Milk Fat Production in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 80 (9) : 2104-2114.
- Kang K.R., Cherian G., Sim J.S. (2001). Dietary palm oil alters the lipid stability of polyunsaturated fatty acid-modified poultry products. *Poultry Science* 80 (2) : 228-234.
- Kay J.K., Roche J.R., Moore C.E., Baumgard L.H. (2006). Effects of dietary conjugated linoleic acid on production and metabolic parameters in transition dairy cows grazing fresh pasture. *Journal of Dairy Research* 73 (3) : 367-377.
- Kay J.K., Roche J.R., Kolver E.S., Thomson N.A., Baumgard L.H. (2005). A comparison between feeding systems (pasture and TMR) and the effect of vitamin E supplementation on plasma and milk fatty acid profiles in dairy cows. *Journal of Dairy Research* 72 (3) : 322-332.
- Kelly M.L., Berry J.R., Dwyer D.A., Griinari J.M., Chouinard P.Y., Van Amburgh M.E., Bauman D.E. (1998). Dietary fatty acid sources affect conjugated linoleic acid concentrations in milk from lactating dairy cows. *Journal of Nutrition* 128 (5) : 881-885.
- Kelsey J.A., Corl B.A., Collier R.J., Bauman D.E. (2003). The Effect of Breed, Parity, and Stage of Lactation on Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Milk Fat from Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 86 (8) : 2588-2597.
- Kemp P. et Dawson R.M. (1968). Isomerization of linolenic acid by rumen micro-organisms. *Biochemical Journal* 109 (3) : 477-478.
- Kennelly J.J. (1996). The fatty acid composition of milk fat as influenced by feeding oilseeds. *Animal Feed Science and Technology* 60 (3-4) : 137-152.
- Kien C.L. et Bunn J.Y. (2007). Effects of palmitate and oleate on the respiratory quotient during acute feeding. *Obesity* 15 (7) : 1640-1642.
- Kitessa S.M., Peake D., Bencini R., Williams A.J. (2003). Fish oil metabolism in ruminants - III. Transfer of *n*-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) from tuna oil into sheep's milk. *Animal Feed Science and Technology* 108 (1-4) : 1-14.
- Kitessa S.M., Gulati S.K., Ashes J.R., Fleck E., Scott T.W., Nichols P.D. (2001). Utilisation of fish oil in ruminants. ii. Transfer of fish oil fatty acids into goat's milk. *Animal Feed Science and Technology* 89 (3-4) : 201-208.
- Knight T.W., Tavendale M.H., Death A.F., Agnew M. (2004). Conjugated linoleic acid concentration (CLA) in the m. *longissimus thoracis* of the offspring of Romney ewes screened for high and low CLA in their milkfat. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 47 (3) : 287-297.
- Komprda T., Zelenka J., Fajmonová E., Fialová M., Kladroba D. (2005). Arachidonic acid and long-chain *n*-3 polyunsaturated fatty acid contents in meat of selected poultry and fish species in relation to dietary fat sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (17) : 6804-6812.
- Kraft J., Collomb M., Möckel P., Sieber R., Jahreis G. (2003). Differences in CLA isomer distribution of cow's milk lipids. *Lipids* 38 (6) : 657-664.
- Kramer J.K.G., Blackadar C.B., Zhou J. (2002). Evaluation of two GC Columns (60-m SUPELCOWAX 10 and 100-m CP Sil 88) for analysis of milkfat with emphasis on CLA, 18:1, 18:2 and 18:3 isomers and short- and long-chain FA. *Lipids* 37 (8) : 823-835.
- Kramer J.K.G., Fellner V., Dugan M.E.R., Sauer F.D., Mossoba M.M., Yurawecz M.P. (1997). Evaluating acid and base catalysts in the methylation of milk and rumen fatty acids with special emphasis on conjugated dienes and total *trans* fatty acids. *Lipids* 32 (11) : 1219-1228.
- Krasicka B., Kulasek G.W., Swierczewska E., Orzechowski A. (2000). Body gains and fatty acid composition in carcasses of broilers fed diets enriched with full-fat rapeseed and/or flaxseed. *Archiv für Geflügelkunde* 64 (2) : 61-69.
- Kucuk O., Hess B.W., Ludden P.A., Rule D.C. (2001). Effect of forage: concentrate ratio on ruminal digestion and duodenal flow of fatty acids in ewes. *Journal of Animal Science* 79 (8) : 2233-2240.
- Kuhnt K., Kraft J., Vogelsang H., Eder K., Kratzsch J., Jahreis G. (2007). Dietary supplementation with *trans*-11- and *trans*-12 18:1 increases *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid in human immune cells, but without effects on biomarkers of immune function and inflammation. *British Journal of Nutrition* 97 (6) : 1196-1205.
- Kuksis A. (1992). Yolk lipids. *Biochimica et Biophysica Acta- Lipids and Lipid Metabolism* 1124 (3) : 205-222.
- Kussaibati R., Leclercq B., Guillaume J. (1983). Effets du calcium, du magnésium et des sels biliaires sur l'énergie métabolisable apparente et la digestibilité des lipides, de l'amidon et des protéines chez le poulet en croissance. *Annales de Zootechnie* 32 (1) : 7-20.
- Kussaibati R., Guillaume J., Leclercq B. (1982). The effects of age, dietary fat and bile salts, and feeding rate on apparent and true metabolisable energy values in chickens. *British Poultry Science* 23 (5) : 393-403.
- Kuzdzal-Savoie S. et Kuzdzal W. (1961). Influence de la mise à l'herbe des vaches laitières sur les indices de la matière grasse du beurre et sur les teneurs en différents acides gras poly-insaturés. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique* 1 (I) : 47-69.
- Labroue F., Marsac H., Luquet M., Gruand J., Mourot J., Neelz V., Legault C., Ollivier L. (2001). Performances of French local breeds. Dans : "Pig genetic resources in Europe". EAAP publication n° 104, Wageningen Pers : 51-57.
- Laplaud P.M., Bauchart D., Durand D., Chapman M.J. (1990). Lipoproteins and apolipoproteins in intestinal lymph of preruminant calf, Bos spp., at peak lipid absorption. *Journal of Lipid Research* 31 (10) : 1781-1792.
- Larbier M. et Leclercq B. (1992). Nutrition et alimentation des volailles. INRA, Paris, France. 355 p.
- Lavillonnière F., Chajès V., Martin J.C., Sébédio J.L., Lhuillery C., Bougnoux P. (2003). Dietary purified *cis*-9, *trans*-11 conjugated linoleic acid isomer has anticarcinogenic properties in chemically induced mammary tumors in rats. *Nutrition and Cancer* 45 (2) : 190-194.
- Lawless F., Stanton C., L'Escop P., Devery R., Dillon P., Murphy J.J. (1999). Influence of breed on bovine milk *cis*-9, *trans*-11-conjugated linoleic acid content. *Livestock Production Science* 62 (1) : 43-49.
- Lawless F., Murphy J.J., Harrington D., Devery R., Stanton C. (1998). Elevation of Conjugated *cis*-9, *trans*-11-Octadecadienoic Acid in Bovine Milk Because of Dietary Supplementation. *Journal of Dairy Science* 81 (12) : 3259-3267.
- Lebas F., Lamboley B., Fortun Lamothe L. (1996). Effects of dietary energy level and origin (starch vs oil) on growth and fatty acid composition of rabbit milk. Proceedings 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Toulouse, France, 9-12 juillet 1996, vol. 1 : 223-226.
- Lebas F., Ouhayoun J., Delmas D. (1988). Effect of hempseed oil cake introduction in rabbit feeding on growth performance and carcass quality. Proceedings 4<sup>th</sup> congress WRSA, Budapest Octobre 1988, Vol. 3 : 256-262.
- Lebret B. et Mourot J. (1998). Caractéristiques et qualité des tissus adipeux chez le porc. Facteurs de variation non génétiques. *Productions Animales* 11 (2) : 131-143.

- Le Dividich J., Noblet J., Bikawa T. (1987). Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed to equal rate of gain. *Livestock Production Science* 17 (C) : 235-246.
- Ledoux M., Chardigny J.M., Darbois M., Soustre Y., Sébédio J.L., Laloux L. (2003). Variations saisonnières et régionales des taux d'acides linoléiques conjugués dans les beurres français [Seasonal and regional variations of the levels of conjugated linoleic acid in French butters]. *Sciences des Aliments* 23 (3) : 443-461.
- LeDoux M., Rouzeau A., Bas P., Sauvart D. (2002). Occurrence of *trans*-C<sub>18:1</sub> Fatty Acid Isomers in Goat Milk: Effect of Two Dietary Regimens. *Journal of Dairy Science* 85 (1) : 190-197.
- Legrand P., Bourre J.M., Descomps B., Durand G., Renaud S. (2001). Lipides. Dans : Martin *et al.* (2001) Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Paris, Tec&Doc. 3<sup>e</sup> ed. : 63-82.
- Leiber F., Kreuzer M., Nigg D., Wettstein H.R., Scheeder M.R.L. (2005). A study on the causes for the elevated n-3 fatty acids in cows' milk of alpine origin. *Lipids* 40 (2) : 191-202.
- Leplaix-Charlat L. (1995). Effets des acides gras et du cholestérol alimentaire sur le métabolisme des lipides et des lipoprotéines aux niveaux plasmatique et hépatique chez le veau préruminant : conséquences sur la composition lipidique des tissus. Thèse de Doctorat, spécialité Biochimie, option Nutrition : aspects moléculaires et cellulaires. Université de Droit d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III (Bourse INRA/Région Auvergne), soutenue le 3 juillet 1995.
- Leplaix-Charlat L., Durand D., Bauchart D. (1996). Effects of Diets Containing Tallow and Soybean Oil with and Without Cholesterol on Hepatic Metabolism of Lipids and Lipoproteins in the Preruminant Calf. *Journal of Dairy Science* 79 (10) : 1826-1835.
- Les cahiers de l'ENS.BANA. (1981). (3). L'œuf. Quelques données récentes sur sa production, ses utilisations et sa consommation. Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 36 p.
- Leskanich C.O. et Noble R.C. (1997). Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World's Poultry Science Journal* 53 (2) : 176-183.
- Lessire M. (2002). Valeurs nutritives pour les volailles. Dans : « Tables de Composition et de Valeur Nutritive des Matières Premières Destinées aux Animaux d'Eleavage ». Sauvart J.M., Perez J.M., Tran G. (Coord.), Inra Editions, Paris (FRA) : 37-42.
- Lessire M. (2001). Matières grasses alimentaires et composition lipidique des volailles. *INRA Productions animales* 14 (5) : 365-370.
- Lessire M., Leclercq B., Conan L. (1982). Metabolizable energy value of fats in chicks and adult cockerels. *Animal Feed Science and Technology* 7 (4) : 365-374.
- Leveille G.A., O'Hea E.K., Chakrabarty K. (1968). *In vivo* lipogenesis in the domestic chicken. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. Society for Experimental Biology and Medicine (New York, N. Y.)* 128 (2) : 398-401.
- Lin D.S., Connor W.E., Anderson G.J. (1991). The incorporation of n-3 and n-6 essential fatty acids into the chick embryo from egg yolks having vastly different fatty acid compositions. *Pediatric Research* 29 (6) : 601-605.
- Lizardo R., Van Milgen J., Mouroit J., Noblet J., Bonneau M. (2002). A nutritional model of fatty acid composition in the growing-finishing pig. *Livestock Production Science* 75 (2) : 167-182.
- Lock A. et Shingfield K.J. (2004). Optimising milk composition. Dans : "Dairying-Using Science to Meet Consumers's Needs". Kebreab E, Mills J, Beever DE (eds) Occasional Publication n  29 of the British Society of Animal Science, Nottingham University Press, Loughborough (UK) : 107-108.
- Lock A.L., Rovai M., Gipson T.A., de Veth M.J., Bauman D.E. (2008). A Conjugated Linoleic Acid Supplement Containing *Trans*-10, *Cis*-12 Conjugated Linoleic Acid Reduces Milk Fat Synthesis in Lactating Goats. *Journal of Dairy Science* 91 (9) : 3291-3299.
- Lock A.L., Tyburczy C., Dwyer D.A., Harvatine K.J., Destaillets F., Mouloungui Z., Candy L., Bauman D.E. (2007). *Trans*-10 octadecenoic acid does not reduce milk fat synthesis in dairy cows. *Journal of Nutrition* 137 (1) : 71-76.
- Lock A.L., Teles B.M., Perfield II J.W., Bauman D.E., Sinclair L.A. (2006). A Conjugated Linoleic Acid Supplement Containing *trans*-10, *cis*-12 Reduces Milk Fat Synthesis in Lactating Sheep. *Journal of Dairy Science* 89 (5) : 1525-1532.
- Lock A.L., Parodi P.W., Bauman D.E. (2005). The biology of trans fatty acids: implications for human health and the dairy industry. *Australian Journal of Dairy Technology* 60 (2) SPEC. ISS. : 134-142.
- Loor J.J., Ferlay A., Ollier A., Doreau M., Chilliard Y. (2005 a). Relationship Among *Trans* and Conjugated Fatty Acids and Bovine Milk Fat Yield Due to Dietary Concentrate and Linseed Oil. *Journal of Dairy Science* 88 (2) : 726-740.
- Loor J.J., Ferlay A., Ollier A., Ueda K., Doreau M., Chilliard Y. (2005 b). High-Concentrate Diets and Polyunsaturated Oils Alter *Trans* and Conjugated Isomers in Bovine Rumens, Blood, and Milk. *Journal of Dairy Science* 88 (11) : 3986-3999.
- Loor J.J., Ueda K., Ferlay A., Chilliard Y., Doreau M. (2005 c). Intestinal flow and digestibility of *trans* fatty acids and conjugated linoleic acids (CLA) in dairy cows fed a high-concentrate diet supplemented with fish oil, linseed oil, or sunflower oil. *Animal Feed Science and Technology* 119 (3-4) : 203-225.
- Loor J.J., Doreau M., Chardigny J.M., Ollier A., Sébédio J.L., Chilliard Y. (2005 d). Effects of ruminal or duodenal supply of fish oil on milk fat secretion and profiles of *trans*-fatty acids and conjugated linoleic acid isomers in dairy cows fed maize silage. *Animal Feed Science and Technology* 119 (3-4) : 227-246.
- Loor J.J., Ueda K., Ferlay A., Chilliard Y., Doreau M. (2004). Biohydrogenation, Duodenal Flow, and Intestinal Digestibility of *Trans* Fatty Acids and Conjugated Linoleic Acids in Response to Dietary Forage: Concentrate Ratio and Linseed Oil in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 87 (8) : 2472-2485.
- Loor J.J., Bandara A.B.P.A., Herbein J.H. (2002). Characterization of 18:1 and 18:2 isomers produced during microbial biohydrogenation of unsaturated fatty acids from canola and soya bean oil in the rumen of lactating cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 86 (11-12) : 422-432.
- López-Ferrer S., Baucells M.D., Barroeta A.C., Galobart J., Grashorn M.A. (2001 a). n-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: linseed oil. *Poultry Science* 80 (6) : 753-761.
- López-Ferrer S., Baucells M.D., Barroeta A.C., Grashorn M.A. (2001 b). n-3 enrichment of chicken meat. 1. Use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. *Poultry Science* 80 (6) : 741-752.
- López-Ferrer S., Barroeta A.C., Grashorn M.A., Baucells M.D. (1999 a). Influence of vegetable oil sources on quality parameters of broiler meat. *Archiv fur Geflugelkunde* 63 (1) : 29-35.
- López-Ferrer S., Baucells M.D., Barroeta A.C., Grashorn M.A. (1999 b). n-3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science* 78 (3) : 356-365.

- Lopez-Garcia E., Schulze M.B., Meigs J.B., Manson J.E., Rifai N., Stampfer M.J., Willet W.C., Hu F.B. (2005). Consumption of trans fatty acids is related to plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction. *Journal of Nutrition* 135 (3) : 562-566.
- Lucas A., Agabriel C., Martin B., Ferlay A., Verdier-Metz I., Coulon J.B., Rock E. (2006 a). Relationships between the conditions of cow's milk production and the contents of components of nutritional interest in raw milk farmhouse cheese. *Lait* 86 (3) : 177-202.
- Lucas A., Rock E., Chamba J.F., Verdier-Metz I., Brachet P., Coulon J.B. (2006 b). Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest. *Lait* 86 (1) : 21-41.
- Luna P., Fontecha J., Juárez M., De la Fuente M.A. (2005 a). Changes in the milk and cheese fat composition of ewes fed commercial supplements containing linseed with special reference to the CLA content and isomer composition. *Lipids* 40 (5) : 445-454.
- Luna P., Fontecha J., Juárez M., De La Fuente M.A. (2005 b). Conjugated linoleic acid in ewe milk fat. *Journal of Dairy Research* 72 (4) : 415-424.
- McDonald I.W. et Scott T.W. (1977). Foods of ruminant origin with elevated content of polyunsaturated fatty acids. *World Review of Nutrition and Dietetics* 26 : 144-207.
- Mc Guffey R.K. et Schingoethe D.J. (1982). Whole Sunflower Seeds for High Producing Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 65 (8) : 1479-1483.
- McNamee B.F., Fearon A.M., Pearce J. (2002). Effect of feeding oilseed supplements to dairy cows on ruminal and milk fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82 (7) : 677-684.
- Madsen A., Jakobsen K., Mortensen H.P. (1992). Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta Agriculturae Scandinavica – Section A: Animal Science* 42 (4) : 220-225.
- Maertens L., Huychebaert G., De Groote G. (1985). Digestibilité et teneur en énergie digestible de quelques matières grasses pour des lapins en croissance. *Cuni-Sciences* 3 : 7-14.
- Maillot M., Darmon N., Vieux F., Drewnowski A. (2007). Low energy density and high nutritional quality are each associated with higher diet costs in French adults. *American Journal of Clinical Nutrition* 86 (3) : 690-696.
- Malpuech-Brugère C., Mouriot J., Boue-Vaysse C., Combe N., Peyraud J.L., Leruyet P., Chesneau G., Morio B., Chardigny J.M. (2010). Differential impact of milk fatty profiles on cardiovascular risk biomarkers in healthy men and women. *European Journal of Clinical Nutrition* 64 (7) : 752-759.
- Manirakiza P., Covaci A., Schepens P. (2001). Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, Roesse-Gottlieb, Bligh & Dyer, and modified Bligh & Dyer extraction methods. *Journal of Food Composition and Analysis* 14 : 93-100.
- Marshall A.C., Sams A.R., Van Elswyk M.E. (1994). Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5 % menhaden oil. *Journal of Food Science* 59 (3) : 561-563.
- Martin A. et al. (2001). Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3<sup>ème</sup> édition, Afssa-Cnera-CNRS, Tec et documents Lavoisier (Ed), 605 p.
- Martin C. et Chilliard Y. (2004). Effet d'une supplémentation lipidique sur la production de méthane et la composition en acides gras du lait chez la vache laitière. Rapport de Contrat de Recherche INRA-Danone n° BO5324, 21 p.
- Massart-Leën A.M., Roets E., Peeters G., Verbeke R. (1983). Propionate for Fatty Acid Synthesis by the Mammary Gland of the Lactating Goat. *Journal of Dairy Science* 66 (7) : 1445-1454.
- Mele M., Buccioni A., Petacchi F., Serra A., Banni S., Antongiovanni M., Secchiari P. (2006). Effect of forage/concentrate ratio and soybean oil supplementation on milk yield, and composition from Sarda ewes. *Animal Research* 55 (4) : 273-285.
- Mir P.S., McAllister T.A., Scott S., Aalhus J., Baron J., McCartney D., Charmley E., Goonewardene L., Basarab J., Okine E., Weselake R.J., Mir Z. (2004). Conjugated linoleic acid-enriched beef production. *American Journal of Clinical Nutrition* 79 (6 suppl.) : 1207S-1211S.
- Mir P.S., Mir Z., Kuber P.S., Gaskins C.T., Martin E.L., Dodson M.V., Elias Calles J.A., Johnson K.A., Busboom J.R., Wood A.J., Pittenger G.J., Reeves J.J. (2002). Growth, carcass characteristics, muscle conjugated linoleic acid (CLA) content, and response to intravenous glucose challenge in high percentage Wagyu, Wagyu x Limousin, and Limousin steers fed sunflower oil-containing diets. *Journal of Animal Science* 80 (11) : 2996-3004.
- Moloney F., Yeow T.-P., Mullen A., Nolan J.J., Roche H.M. (2004). Conjugated linoleic acid supplementation, insulin sensitivity, and lipoprotein metabolism in patients with type 2 diabetes mellitus. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (4) : 887-895.
- Monziols M., Bonneau M., Davenel A., Kouba M. (2007). Comparison of the lipid content and fatty acid composition of intermuscular and subcutaneous adipose tissues in pig carcasses. *Meat Science* 76 (1) : 54-60.
- Moore C.E., Kay J.K., Collier R.J., VanBaale M.J., Baumgard L.H. (2005). Effect of Supplemental Conjugated Linoleic Acids on Heat-Stressed Brown Swiss and Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 88 (5) : 1732-1740.
- Moore C.E., Haffiger H.C., Mendivil O.B., Sanders S.R., Bauman D.E., Baumgard L.H. (2004). Increasing Amounts of Conjugated Linoleic Acid (CLA) Progressively Reduces Milk Fat Synthesis Immediately Postpartum. *Journal of Dairy Science* 87 (6) : 1886-1895.
- Morales M., Sol, Palmquist D.L., Weiss W.P. (2000). Milk Fat Composition of Holstein and Jersey Cows with Control or Depleted Copper Status and Fed Whole Soybeans or Tallow. *Journal of Dairy Science* 83 (9) : 2112-2119.
- Morrisson W.R. et Smith L.M. (1964). Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids. *Journal of Lipid Research* 5 : 600-608.
- Mosley E.E., Shafii B., Moate P.J., McGuire M.A. (2006). Cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid is synthesized directly from vaccenic acid in lactating dairy cattle. *Journal of Nutrition* 136 (3) : 570-575.
- Mosley E.E., Powell G.L., Riley M.B., Jenkins T.C. (2002). Microbial biohydrogenation of oleic acid to trans isomers in vitro. *Journal of Lipid Research* 43 (2) : 290-296.
- Mosley S.A., Mosley E.E., Hatch B., Szasz J.I., Corato A., Zacharias N., Howes D., McGuire M.A. (2007). Effect of Varying Levels of Fatty Acids from Palm Oil on Feed Intake and Milk Production in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 90 (2) : 987-993.
- Motard-Bélanger A., Charest A., Grenier G., Paquin P., Chouinard Y., Lemieux S., Couture P., Lamarche B. (2008). Study of the effect of trans fatty acids from ruminants on blood lipids and other risk factors for cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition* 87 (3) : 593-599.
- Mourot J. (2001). Mise en place des tissus adipeux sous-cutanés et intramusculaires et facteurs de variation quantitatifs et qualitatifs chez le porc. *INRA Productions animales* 14 (5) : 355-363.

- Mourot J. et Hermier D. (2001). Lipids in monogastric animal meat. *Reproduction Nutrition Development* 41 (2) : 109-118.
- Mozaffarian D. et Willett W.C. (2007). Trans fatty acids and cardiovascular risk: A unique cardiometabolic imprint ? *Current Atherosclerosis Reports* 9 (6) : 486-493.
- Mozaffarian D., Katan M.B., Ascherio A., Stampfer M.J., Willett W.C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine* 354 (15) : 1601-1613.
- Mozaffarian D., Pischon T., Hankinson S.E., Rifai N., Joshipura K., Willett W.C., Rimm E.B. (2004 a). Dietary intake of trans fatty acids and systemic inflammation in women. *American Journal of Clinical Nutrition* 79 (4) : 606-612.
- Mozaffarian D., Rimm E.B., King I.B., Lawler R.L., McDonald G.B., Levy W.C. (2004 b). Trans Fatty acids and systemic inflammation in heart failure. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (6) : 1521-1525.
- Mozzon M., Frega N.G., Fronte B., Tocchini M. (2002). Effect of dietary fish oil supplements on levels of n-3 polyunsaturated fatty acids, trans acids and conjugated linoleic acid in ewe milk. *Food Technology and Biotechnology* 40 (3) : 213-219.
- Mullen A., Moloney F., Nugent A.P., Doyle L., Cashman K.D., Roche H.M. (2007). Conjugated linoleic acid supplementation reduces peripheral blood mononuclear cell interleukin-2 production in healthy middle-aged males. *Journal of Nutritional Biochemistry* 18 (10) : 658-666.
- Neudoerffer T.S. et Lea C.H. (1967). Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on the composition of the individual lipids of turkey breast and leg muscle. *British Journal of Nutrition* 21 (3) : 691-714.
- Newman R.E., Bryden W.L., Fleck E., Ashes J.R., Buttemer W.A., Storlien L.H., Downing J.A. (2002). Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: Metabolism and abdominal fat deposition. *British Journal of Nutrition* 88 (1) : 11-18.
- Nielsen T.S., Straarup E.M., Vestergaard M., Sejrsen K. (2006). Effect of silage type and concentrate level on conjugated linoleic acids, trans-C18:1 isomers and fat content in milk from dairy cows. *Reproduction Nutrition Development* 46 (6) : 699-712.
- Noblet J., Jaguelin-Peyraud Y., Quemeneur B., Chesneau G. (2008). Valeur énergétique de la graine de lin chez le porc : impact de la technologie de cuisson extrusion. *Journées de la Recherche Porcine en France* 40 : 203-208.
- Noci F., Monahan F.J., French P., Moloney A.P. (2005 a). The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of pasture-fed beef heifers: Influence of the duration of grazing. *Journal of Animal Science* 83 (5) : 1167-1178.
- Noci F., O'Kiely P., Monahan F.J., Stanton C., Moloney A.P. (2005 b). Conjugated linoleic acid concentration in M. *Longissimus dorsi* from heifers offered sunflower oil based concentrates and conserved forages. *Meat Science* 69 (3) : 509-518.
- NORME CEE-ONU. concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale de certains produits d'œuf destinés à l'industrie alimentaire (N° 63). [http://www.unece.org/trade/agr/standard/eggs/eggs\\_f/63produc.pdf](http://www.unece.org/trade/agr/standard/eggs/eggs_f/63produc.pdf).
- Nudda A., Battacone G., Usai M.G., Fancelli S., Pulina G. (2006). Supplementation with Extruded Linseed Cake Affects Concentrations of Conjugated Linoleic Acid and Vaccenic Acid in Goat Milk. *Journal of Dairy Science* 89 (1) : 277-282.
- Nudda A., McGuire M.A., Battacone G., Pulina G. (2005). Seasonal Variation in Conjugated Linoleic Acid and Vaccenic Acid in Milk Fat of Sheep and its Transfer to Cheese and Ricotta. *Journal of Dairy Science* 88 (4) : 1311-1319.
- Nudda A., Mele M., Battacone G., Usai M.G., Macciotta N.P.P. (2003). Comparison of conjugated linoleic acid (CLA) content in milk of ewes and goats with the same dietary regimen. *Italian Journal of Animal Science* 2 (suppl. 1) : 515-517.
- Nuernberg K., Dannenberger D., Nuernberg G., Ender K., Voigt J., Scollan N.D., Wood J.D., Nute G.R., Richardson R.I. (2005 a). Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of *longissimus* muscle in different cattle breeds. *Livestock Production Science* 94 (1-2) : 137-147.
- Nuernberg K., Nuernberg G., Ender K., Dannenberger D., Schabbel W., Grumbach S., Zupp W., Steinhart H. (2005 b). Effect of grass vs. concentrate feeding on the fatty acid acid profile of different fat depots in lambs. *European Journal of Lipid Science and Technology* 107 (10) : 737-745.
- Odens L.J., Burgos R., Innocenti M., VanBaale M.J., Baumgard L.H. (2007). Effects of Varying Doses of Supplemental Conjugated Linoleic Acid on Production and Energetic Variables During the Transition Period. *Journal of Dairy Science* 90 (1) : 293-305.
- Office de l'Elevage. (2006). Marché des produits carnés d'origine bovine. Dans : « Le marché des produits carnés, avicoles et laitiers : chiffres clés 2006 ». Publications de l'Office de l'Elevage : 11-25.
- Oh S.Y., Ryue J., Hsieh C.H., Bell D.E. (1991). Eggs enriched with  $\omega$ -3 fatty acids and alterations in lipid concentrations in plasma and lipoproteins and in blood pressure. *American Journal of Clinical Nutrition* 54 (4) : 689-695.
- Olomu J.M. et Baracos V.E. (1991). Influence of dietary flaxseed oil on the performance, muscle protein deposition, and fatty acid composition of broiler chicks. *Poultry Science* 70 (6) : 1403-1411.
- Onetti S.G., Shaver R.D., McGuire M.A., Grummer R.R. (2001). Effect of Type and Level of Dietary Fat on Rumen Fermentation and Performance of Dairy Cows Fed Corn Silage-Based Diets. *Journal of Dairy Science* 84 (12) : 2751-2759.
- Oomen C.M., Ocké M.C., Feskens E.J.M., Van Erp-Baart M.A.J., Kok F.J., Kromhout D. (2001). Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: a prospective population-based study. *Lancet* 357 (9258) : 746-751.
- Ouhayoun J. et Delmas D. (1989). La viande de lapin. Composition de la fraction comestible de la carcasse et des morceaux de découpe. *Cuni-Sciences* 5 : 1-6.
- Ouhayoun J., Gidenne T., Demarne Y. (1985). Évolution postnatale de la composition en acides gras des lipides du tissu adipeux et du tissu musculaire chez le lapin en régime hypolipidique. *Reproduction Nutrition Development* 25 (3) : 505-519.
- Owings W.J., Sell J.L., Hasiak R.K. (1980). Growth and carcass characteristics of market turkeys as influenced by dietary fat sources. *Poultry Science* 59 : 1648.
- Özpinar H., Kahraman R., Abas I., Kutay H.C., Eseceli H., Grashorn M.A. (2003). Effect of dietary, fat source on n-3 fatty acid enrichment of broiler meat. *Archiv für Geflügelkunde* 67 (2) : 57-64.
- Palmquist D.L. et Griinari J.M. (2006). Milk fatty acid composition in response to reciprocal combinations of sunflower and fish oils in the diet. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 358-369.
- Palmquist D.L., Lock A.L., Shingfield K.J., Bauman D.E. (2005). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. Dans : "Advances in food and nutrition research", Ed. : Taylor S., Elsevier : 179-218.
- Palmquist D.L., Beaulieu A.D., Barbano D.M. (1993). Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76 (6) : 1753-1771.

- Papadopoulos G., Goulas C., Apostolaki E., Abril R. (2002). Effects of dietary supplements of algae, containing polyunsaturated fatty acids, on milk yield and the composition of milk products in dairy ewes. *Journal of Dairy Research* 69 (3) : 357-365.
- Perfield II J.W., Lock A.L., Pfeiffer A.M., Bauman D.E. (2004). Effects of Amide-Protected and Lipid-Encapsulated Conjugated Linoleic Acid (CLA) Supplements on Milk Fat Synthesis. *Journal of Dairy Science* 87 (9) : 3010-3016.
- Perfield II J.W., Bernal-Santos G., Overton T.R., Bauman D.E. (2002). Effects of Dietary Supplementation of Rumen-Protected Conjugated Linoleic Acid in Dairy Cows during Established Lactation. *Journal of Dairy Science* 85 (10) : 2609-2617.
- Perret J.P. (1982). Lipolyse gastrique chez le lapereau. Origine et importance physiologique de la lipase [Gastric lipolysis in the young rabbit: Origin and physiological importance of the lipase]. *Journal de Physiologie* 78 (2) : 221-230.
- Perret J.P. (1980). Lipolyse gastrique des triglycérides du lait maternel, et absorption gastrique des acides gras à chaîne moyenne chez le lapereau [Gastric lipolysis of maternal milk triglycerides, and gastric absorption of medium chain fatty acids in the young rabbit]. *Journal de Physiologie* 76 (2) : 159-166.
- Perrot C. et Frayse J.L. (2002). Diversité des exploitations d'élevage de ruminants : principaux facteurs et éléments de quantification à partir du recensement agricole 2000 [Diversity of livestock (ruminants) production systems: main factors and elements of quantification from the agricultural census 2000]. *Rencontres Recherches Ruminants* 9 : 165-168.
- Peterson D.G., Baumgard L.H., Bauman D.E. (2002). Short Communication: Milk Fat Response to Low Doses of *trans*-10, *cis*-12 Conjugated Linoleic Acid (CLA). *Journal of Dairy Science* 85 (7) : 1764-1766.
- Petit H.V. (2003). Digestion, Milk Production, Milk Composition, and Blood Composition of Dairy Cows Fed Formaldehyde Treated Flaxseed or Sunflower Seed. *Journal of Dairy Science* 86 (8) : 2637-2646.
- Petit H.V. (2002). Digestion, Milk Production, Milk Composition, and Blood Composition of Dairy Cows Fed Whole Flaxseed. *Journal of Dairy Science* 85 (6) : 1482-1490.
- Petit H.V., Dewhurst R.J., Scollan N.D., Proulx J.G., Khalid M., Haresign W., Twagiramungu H., Mann G.E. (2002). Milk Production and Composition, Ovarian Function, and Prostaglandin Secretion of Dairy Cows Fed Omega-3 Fats. *Journal of Dairy Science* 85 (4) : 889-899.
- Picard B., Bauchart D., Culioli J., Dransfield E., Jailler R., Jurie C., Lepetit J., Listrat A., Ouali A., Rudel S., Geay Y. (2002). Caractéristiques des muscles de taurillons et de vaches de réforme de quatre races bovines du Massif Central. *Viandes et Produits Carnés*, Hors série sur les 9<sup>èmes</sup> journées des sciences du muscle et technologies de la viande: 95-96.
- Pike O.A. et Peng I.C. (1985). Stability of shell egg and liquid yolk to lipid oxidation. *Poultry Science* 64 : 1470-1475.
- Piperova L.S., Moallem U., Teter B.B., Sampugna J., Yurawecz M.P., Morehouse K.M., Luchini D., Erdman R.A. (2004). Changes in Milk Fat in Response to Dietary Supplementation with Calcium Salts of *Trans*-18:1 or Conjugated Linoleic Fatty Acids in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 87 (11) : 3836-3844.
- Piperova L.S., Sampugna J., Teter B.B., Kalscheur K.F., Yurawecz M.P., Ku Y., Morehouse K.M., Erdman R.A. (2002). Duodenal and milk *trans* octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of *cis*-9-containing CLA in lactating dairy cows. *Journal of Nutrition* 132 (6) : 1235-1241.
- Piperova L.S., Teter B.B., Bruckental I., Sampugna J., Mills S.E., Yurawecz M.P., Fritsche J., Ku K., Erdman R.A. (2000). Mammary lipogenic enzyme activity, *trans* fatty acids and conjugated linoleic acids are altered in lactating dairy cows fed a milk fat-depressing diet. *Journal of Nutrition* 130 (10) : 2568-2574.
- Plourde M. et Cunnane S.C. (2007). Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: Implications for their dietary essentiality and use as supplements. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 32 (4) : 619-634.
- Ponter A.A., Parsy A.E., Saadé M., Mialot J.P., Ficheux C., Duvaux-Ponter C., Grimard B. (2006). Effect of a supplement rich in linolenic acid added to the diet of post partum dairy cows on ovarian follicle growth, and milk and plasma fatty acid compositions. *Reproduction Nutrition Development* 46 (1) : 19-29.
- Pottier J., Focant M., Debier C., De Buysser G., Goffe C., Mignolet E., Froidmont E., Larondelle Y. (2006). Effect of Dietary Vitamin E on Rumen Biohydrogenation Pathways and Milk Fat Depression in Dairy Cows Fed High-Fat Diets. *Journal of Dairy Science* 89 (2) : 685-692.
- Precht D. et Molkentin J. (2000). Frequency distributions of conjugated linoleic acid and *trans* fatty acid contents in European bovine milk fats. *Milchwissenschaft* 55 (12) : 687-691.
- Precht D. et Molkentin J. (1999). C18:1, C18:2 and C18:3 *trans* and *cis* fatty acid isomers including conjugated *cis*δ9,*trans*δ11 linoleic acid (CLA) as well as total fat composition of German human milk lipids. *Food/Nahrung* 43 (4) : 233-244.
- Precht D., Molkentin J., Vahlendieck M. (1999). Influence of the heating temperature on the fat composition of milk fat with emphasis on *cis*-/*trans*-isomerization. *Food/Nahrung* 43 (1) : 25-33.
- Precht D., Molkentin J., Destaillets F., Wolff R.L. (2001). Comparative studies on individual isomeric 18:1 acids in cow, goat, and ewe milk fats by low-temperature high-resolution capillary gas-liquid chromatography. *Lipids* 36 (8) : 827-832.
- Preziosi P., Galan P., Deheeger M., Yacoub N., Drewnowski A., Hercberg S. (1999). Breakfast type, daily nutrient intakes and vitamin and mineral status of French children, adolescents and adults. *Journal of the American College of Nutrition* 18 (2) : 171-178.
- Proell J.M., Mosley E.E., Powell G.L., Jenkins T.C. (2002). Isomerization of stable isotopically labeled elaidic acid to *cis* and *trans* monoenes by ruminal microbes. *Journal of Lipid Research* 43 (12) : 2072 - 2076.
- Rabot C., Gandemer G., Juin H., Meynier A., Lessire M. (1999). Importance relative de la souche, de l'aliment et de l'âge sur les caractéristiques lipidiques et sensorielles des muscles chez le poulet. Dans : 3<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Avicole, Saint-Malo (FRA), 23-25 mars 1999. ITAVI, Paris (FRA) : 447-450.
- Raes K., Huyghebaert G., De Smet S., Nolle L., Armouts S., Demeyer D. (2002). The deposition of conjugated linoleic acids in eggs of laying hens fed diets varying in fat level and fatty acid profile. *Journal of Nutrition* 132 (2) : 182-189.
- Rampon V., Gandemer G., Le Jossec P., Boulard J. (1994). Qualité des tissus adipeux chez le porc. Journées de la Recherche Porcine en France 26 : 157-162.
- Rapetti L., Crovetto G.M., Galassi G., Sandrucci A., Sued G., Tamburini A., Battelli G. (2002). Effect of maize, Rumen-protected fat and whey permeate on energy utilisation and milk fat composition in lactating goats. *Italian Journal of Animal Science* 1 (1) : 43-53.
- Ratnayake W.M.N., Ackman R.G., Hulan H.W. (1989). Effect of redfish meal enriched diets on the taste and *n*-3 PUFA of 42-day-old broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 49 (1) : 59-74.

- Razanamahefa L., Lafay L., Oseredczuk M., Thiébaud A., Laloux L., Gerber M., Astorg P., Berta J.L. (2005) Consommation lipidique de la population française et qualité des données de composition des principaux groupes d'aliments vecteurs [Dietary fat consumption within French population and quality data on major food contributors composition]. *Bulletin du cancer* 92 (7-8) : 647-657.
- Razminowicz R.H., Kreuzer M., Scheeder M.R.L. (2006). Quality of retail beef from two grass-based production systems in comparison with conventional beef. *Meat Science* 73 (2) : 351-361.
- Reddy P.V., Morril J.L., Nagaraja T.G. (1994). Release of Free Fatty Acids from Raw or Processed Soybeans and Subsequent Effects on Fiber Digestibilities. *Journal of Dairy Science* 77 (11) : 3410-3416.
- Rego O.A., Rosa H.J.D., Portugal P., Cordeiro R., Borba A.E.S., Vouzela C.M., Bessa R.J.B. (2005). Influence of dietary fish oil on conjugated linoleic acid, omega-3 and other fatty acids in milk fat from grazing dairy cows. *Livestock Production Science* 95 (1-2) : 27-33.
- Renaudeau D. et Mourou J. (2007). A comparison of carcass and meat quality characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 90 kg BW. *Meat Science* 76 (1) : 165-171.
- Renner R. et Hill F.W. (1961). Factors affecting the absorbability of saturated fatty acids in the chick. *Journal of Nutrition* 74 (3) : 254-258.
- Resh M.D. (2004). Membrane targeting of lipid modified signal transduction proteins. *Sub-cellular Biochemistry* 37 : 217-232.
- Reynolds C.K., Cannon V.L., Loerch S.C. (2006). Effects of forage source and supplementation with soybean and marine algal oil on milk fatty acid composition of ewes. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 333-357.
- Reynolds C.M., Loscher C.E., Moloney A.P., Roche H.M. (2008). Cis-9, trans-11-conjugated linoleic acid but not its precursor trans-vaccenic acid attenuate inflammatory markers in the human colonic epithelial cell line Caco-2. *British Journal of Nutrition* 100 (1) : 13-17.
- Richardson I., Hallet K.G., Ball R., Robinson A.M., Nute G.R., Enser M., Wood J.D., Scollan N. (2004). Effect of free and ruminally-protected fish oils on fatty acid composition and on sensory and oxidative characteristics of beef loin muscle. Proceedings of the 50<sup>th</sup> International congress of Meat science and Technology : 325-328.
- Rioux V., Lemarchal P., Legrand P. (2000). Myristic acid, unlike palmitic acid, is rapidly metabolized in cultured rat hepatocytes. *Journal of Nutritional Biochemistry* 11 (4) : 198-207.
- Risérus U. (2006). Trans fatty acids and insulin resistance. *Atherosclerosis Supplements* 7 (2) : 37-39.
- Risérus U., Vessby B., Årnlöv J., Basu S. (2004). Effects of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid supplementation on insulin sensitivity, lipid peroxidation, and proinflammatory markers in obese men. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (2) : 279-283.
- Risérus U., Basu S., Jovinge S., Fredrikson G.N., Årnlöv J., Vessby B. (2002 a). Supplementation with conjugated linoleic acid causes isomer-dependent oxidative stress and elevated C-reactive protein: A potential link to fatty acid-induced insulin resistance. *Circulation* 106 (15) : 1925-1929.
- Risérus U., Arner P., Brismar K., Vessby B. (2002 b). Treatment with dietary trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid causes isomer-specific insulin resistance in obese men with the metabolic syndrome. *Diabetes Care* 25 (9) : 1516-1521.
- Rizzi L., Simioli M., Sardi L., Monetti P.G. (2002). Carcass quality, meat chemical and fatty acid composition of lambs fed diets containing extruded soybeans and sunflower seeds. *Animal Feed Science and Technology* 97 (1-2) : 103-114.
- Röse-Gottlieb method. (1996). Fat in milk. AOAC official method 905.02. AOAC official method of analysis, dairy products, AOAC Ed Washington DC, ch.33 : 18
- Rondia P., Delmotte C., Dehareng F., Laloux J., Fameree J., Bartiaux Thill N. (2005). Composition en acides gras du lait de brebis complémentées avec de la graine de lin sous différentes formes (entière, aplatie ou extrudée) [Fatty acid composition of milk fat from ewes supplemented with whole, crushed or extruded linseeds]. *Rencontres Recherches Ruminants* 12 : 407.
- Roth-Maier D.A., Eder K., Kirchgessner M. (1998). Live performance and fatty acid composition of meat in broiler chickens fed diets with various amounts of ground or whole flaxseed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 79 (5) : 260-268.
- Rouel J., Ferlay A., Bruneteau E., Capitan P., Raynal Ljutovac K., Chilliard Y. (2004). Interaction between starchy concentrate and linseed oil supplementation on goat milk yield and composition, including trans and conjugated fatty acids. Dans 55<sup>th</sup> Annual Meeting of European Association for Animal Production, Bled, Slovenia, 5-9 septembre 2004 : 124.
- Rousseaux E. (2005). Le lin et ses secrets. Geste Editions (79260 La Crèche).
- Roy A., Chardigny J.M., Bauchart D., Ferlay A., Lorenz S., Durand D., Gruffat D., Faulconnier Y., Sébédio J.L., Chilliard Y. (2007). Butters rich either in trans-10-C18:1 or in trans-11-C18:1 plus cis-9, trans-11 CLA differentially affect plasma lipids and aortic fatty streak in experimental atherosclerosis in rabbits. *Animal* 1 (3) : 467-476.
- Roy A., Ferlay A., Shingfield K.J., Chilliard Y. (2006). Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to plant oils in cows given different basal diets, with particular emphasis on trans-C18:1 fatty acids and isomers of conjugated linoleic acid. *Animal Science* 82 (4) : 479-492.
- Ryhänen E.L., Tallavaara K., Griinari J.M., Jaakkola S., Mantere-Alhonen S., Shingfield K.J. (2005). Production of conjugated linoleic acid enriched milk and dairy products from cows receiving grass silage supplemented with a cereal-based concentrate containing rapeseed oil. *International Dairy Journal* 15 (3) : 207-217.
- Rymer C. et Givens D.I. (2005). n-3 fatty acid enrichment of edible tissue of poultry: A review. *Lipids* 40 (2) : 121-130.
- Saadoun A. et Leclercq B. (1987). In vivo lipogenesis of genetically lean and fat chickens: Effects of nutritional state and dietary fat. *Journal of Nutrition* 117 (3) : 428-435.
- Sackmann J.R., Duckett S.K., Gillis M.H., Realini C.E., Parks A.H., Eggelston R.B. (2003). Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science* 81 (12) : 3174-3181.
- Sacks F.M. et Katan M. (2002). Randomized clinical trials on the effects of dietary fat and carbohydrate on plasma lipoproteins and cardiovascular disease. *American Journal of Medicine* 113 (9 suppl. 2) : 13S-24S.
- Santomá G., de Blas J.C., Carabaño R.M., Fraga M.J. (1987). The effects of different fats and their inclusion level in diets for growing rabbits. *Animal Production* 45 (2) : 291-300.
- Santos-Silva J., Bessa R.J.B., Santos-Silva F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science* 77 (2-3) : 187-194.

- Sanz Sampelayo M.R., Martín Alonso J.J., Pérez L., Gil Extremera F., Boza J. (2004). Dietary Supplements for Lactating Goats by Polyunsaturated Fatty Acid-Rich Protected Fat. Effects After Supplement Withdrawal. *Journal of Dairy Science* 87 (6) : 1796-1802.
- Sanz Sampelayo M.R., Pérez L., Martín Alonso J.J., Amigo L., Boza J. (2002). Effects of concentrates with different contents of protected fat rich in PUFAs on the performance lactating Granadina goats. Part II. Milk production and composition. *Small Ruminant Research* 43 (2) : 141-148.
- Sauvant D. et Bas P. (2001). La digestion des lipides chez le ruminant. *INRA Productions animales* 14 (5) : 303-310.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (2004). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage, Ed. INRA-AFZ, 301 p.
- Scaife J.R., Moyo J., Galbraith H., Michie W., Campbell V. (1994). Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *British Poultry Science* 35 (1) : 107-118.
- Schäfer K., Männer K., Sagredos A., Eder K., Simon O. (2001). Incorporation of dietary linoleic and conjugated linoleic acids and related effects on eggs of laying hens. *Lipids* 36 (11) : 1217-1222.
- Schiavone A., Romboli I., Chiarini R., Marzoni M. (2004). Influence of dietary lipid source and strain on fatty acid composition of Muscovy duck meat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 88 (3-4) : 88-93.
- Schmidely P., Glasser F., Doreau M., Sauvant D. (2008). Digestion of fatty acids in ruminants: A meta-analysis of flows and variation factors. 1. Total fatty acids. *Animal* 2 (5) : 677-690.
- Schmidely P., Leroux C., Bouvier F., Chilliard Y. (2007). Effect of genotype for alpha S1 casein on milk fatty acid composition in dairy goat. Dans 25<sup>th</sup> IGA International Symposium of the quality of goat products, Bella (ITA), 24-26 mai 2007 : 37-40.
- Schmidely P., Morand-Fehr P., Sauvant D. (2005). Influence of Extruded Soybeans With or Without Bicarbonate on Milk Performance and Fatty Acid Composition of Goat Milk. *Journal of Dairy Science* 88 (2) : 757-765.
- Schmidely P., Morand-Fehr P., Tessier J., Rouzeau A. (2004). Effect of extruded soya seed on reversion of fat and protein percentage and fatty acid composition of goat milk. *CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes Série A* 59 (9) : 91-93.
- Schneider W.J., Carroll R., Severson D.L., Nimpf J. (1990). Apolipoprotein VLDL-II inhibits lipolysis of triglyceride-rich lipoproteins in the laying hen. *Journal of Lipid Research* 31 (3) : 507-513.
- Schreiner M., Hulan H.W., Razzazi-Fazeli E., Böhm J., Iben C. (2004). Feeding laying hens seal blubber oil: effects on egg yolk incorporation, stereospecific distribution of omega-3 fatty acids, and sensory aspects. *Poultry Science* 83 (3) : 462-473.
- Schroeder G.F., Couderc J.J., Bargo F., Rearte D.H. (2005). Milk production and fatty acid profile of milkfat by dairy cows fed a winter oats (*Avena sativa* L.) pasture only or a total mixed ration. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48 (2) : 187-195.
- Schroeder G.F., Gagliostro G.A., Bargo F., Delahoy J.E., Muller L.D. (2004). Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livestock Production Science* 86 (1-3) : 1-18.
- Schroeder G.F., Delahoy J.E., Vidaurreta I., Bargo F., Gagliostro G.A., Muller L.D. (2003). Milk Fatty Acid Composition of Cows Fed a Total Mixed Ration or Pasture Plus Concentrates Replacing Corn with Fat. *Journal of Dairy Science* 86 (10) : 3237-3248.
- Scislowski V., Bauchart D., Gruffat D., Laplaud P.M., Durand D. (2005 a). Effects of dietary n-6 or n-3 polyunsaturated fatty acids protected or not against ruminal hydrogenation on plasma lipids and their susceptibility to peroxidation in fattening steers. *Journal of Animal Science* 83 (9) : 2162-2174.
- Scislowski V., Bauchart D., Gruffat D., Laplaud P.M., Durand D. (2005 b). Effects of dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids on peroxidizability of lipoproteins in steers. *Lipids* 40 (12), art. n° L9661, 1245-1256.
- Scislowski V., Durand D., Gruffat D., Bauchart D. (2004 a). Dietary linoleic acid-induced hypercholesterolemia and accumulation of very light HDL in steers. *Lipids* 39 (2) : 125-133.
- Scislowski V., Durand D., Gruffat-Mouty D., Motta C., Bauchart D. (2004 b). Linoleate supplementation in steers modifies lipid composition of plasma lipoproteins but does not alter their fluidity. *British Journal of Nutrition* 91 (4) : 575-584.
- Scollan N., Richardson I., de Smet S., Moloney A.P., Doreau M., Bauchart D., Nürnberg K. (2005). Enhancing the content of beneficial fatty acids in beef and consequences for meat quality. Dans : "Indicators of milk and beef quality", EAAP Publ. n°112, (editors JF Hocquette and S Gigli), Wageningen Academic Publishers : 151-162.
- Secchiari P., Antongiovanni M., Mele M., Serra A., Buccioni A., Ferruzzi G., Paoletti F., Petacchi F. (2003). Effect of kind of dietary fat on the quality of milk fat from Italian Friesian cows. *Livestock Production Science* 83 (1) : 43-52.
- Sehat N., Kramer J.K.G., Mossoba M.M., Yurawecz M.P., Roach J.A.G., Eulitz K., Morehouse K.M., Ku Y. (1998 a). Identification of conjugated linoleic acid isomers in cheese by gas chromatography, silver ion high performance liquid chromatography and mass spectral reconstructed ion profiles. Comparison of chromatographic elution sequences. *Lipids* 33 (10) : 963-971.
- Sehat N., Yurawecz M.P., Roach J.A.G., Mossoba M.M., Kramer J.K.G., Ku Y. (1998 b). Silver-ion high-performance liquid chromatographic separation and identification of conjugated linoleic acid isomers. *Lipids* 33 (2) : 217-221.
- Seidel C., Deufel T., Jahreis G. (2005). Effects of fat-modified dairy products on blood lipids in humans in comparison with other fats. *Annals of Nutrition and Metabolism* 49 (1) : 42-48.
- Selberg K.T., Lowe A.C., Staples C.R., Luchini N.D., Badinga L. (2004). Production and Metabolic Responses of Periparturient Holstein Cows to Dietary Conjugated Linoleic Acid and *trans*-Octadecenoic Acids. *Journal of Dairy Science* 87 (1) : 158-168.
- Shang X.G., Wang F.L., Li D.F., Yin J.D., Li J.Y. (2004). Effects of dietary conjugated linoleic acid on the productivity of laying hens and egg quality during refrigerated storage. *Poultry Science* 83 (10) : 1688-1695.
- Shapira N., Weill P., Loewenbach R. (2008). Egg fortification with n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA): Nutritional benefits vs. high n-6 PUFA western diets, and consumer acceptance. *Israel Medical Association Journal* 10 (4) : 262-265
- Shingfield K.J., Chilliard Y., Toivonen V., Kairenius P., Givens D.I. (2008). Trans fatty acids and bioactive lipids in ruminant milk. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 606 : 3-65.
- Shingfield K.J., Reynolds C.K., Hervás G., Griinari J.M., Grandison A.S., Beever D.E. (2006). Examination of the Persistency of Milk Fatty Acid Composition Responses to Fish Oil and Sunflower Oil in the Diet of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 89 (2) : 714-732.
- Shingfield K.J., Reynolds C.K., Lupoli B., Toivonen V., Yurawecz M.P., Delmonte P., Griinari J.M., Grandison A.S., Beever D.E. (2005 a). Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. *Animal Science* 80 (2) : 225-238.

- Shingfield K.J., Salo-Väänänen P., Pahkala E., Toivonen V., Jaakkola S., Piironen V., Huhtanen P. (2005 b). Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk. *Journal of Dairy Research* 72 (3) : 349-361.
- Shingfield K.J., Ahvenjärvi S., Toivonen V., Ärölä A., Nurmela K.V.V., Huhtanen P., Griinari J.M. (2003). Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Animal Science* 77 (1) : 165-179.
- Silveira M.B., Carraro R., Monereo S., Tébar J. (2007). Conjugated linoleic acid (CLA) and obesity. *Public Health Nutrition* 10 (10A) : 1181-1186.
- Simon O., Männer K., Schäfer K., Sagredos A., Eder K. (2000). Effects of conjugated linoleic acids on protein to fat proportions, fatty acids, and plasma lipids in broilers. *European Journal of Lipid Science and Technology* 102 (6) : 402-410.
- Sinclair L.A., Lock A.L., Early R., Bauman D.E. (2007). Effects of *Trans*-10, *Cis*-12 Conjugated Linoleic Acid on Ovine Milk Fat Synthesis and Cheese Properties. *Journal of Dairy Science* 90 (7) : 3326-3335.
- Sirri F., Tallarico N., Meluzzi A., Franchini A. (2003). Fatty acid composition and productive traits of broiler fed diets containing conjugated linoleic acid. *Poultry Science* 82 (8) : 1356-1361.
- Skřivan M., Skřivanová V., Marounek M., Tůmová E., Wolf J. (2000). Influence of dietary fat source and copper supplementation on broiler performance, fatty acid profile of meat and depot fat, and on cholesterol content in meat. *British Poultry Science* 41 (5) : 608-614.
- Smedman A., Basu S., Jovinge S., Fredrikson G.N., Vessby B.. (2005). Conjugated linoleic acid increased C-reactive protein in human subjects. *British Journal of Nutrition* 94 (5) : 791-795.
- Smith S.B. et Crouse J.D. (1984). Relative contributions of acetate, lactate and glucose to lipogenesis in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissue. *Journal of Nutrition* 114 (4) : 792-800.
- Soryal K., Beyene F.A., Zeng S., Bah B., Tesfai K. (2005). Effect of goat breed and milk composition on yield, sensory quality, fatty acid concentration of soft cheese during lactation. *Small Ruminant Research* 58 (3) : 275-281.
- Stanton C., Lawless F., Kjellmer G., Harrington D., Devery R., Connolly J.F., Murphy J. (1997). Dietary influences on bovine milk cis-9, trans-11-conjugated linoleic acid content. *Journal of Food Science* 62 (5) : 1083-1086.
- Steele W. et Moore J.H. (1968). Further studies on the effects of dietary cottonseed oil on milk-fat secretion in the cow. *Journal of Dairy Research* 35 (3) : 343-352.
- Stibilj V., Koman Rajšp M., Holcman A. (1999). Fatty acid composition of eggs enriched with omega-3 fatty acids on the market. *Zootehnika* 74 (2) : 27-36.
- Storry J.E., Brumby P.E., Hall A.J., Tuckley B. (1974). Effect of Free and Protected Forms of Codliver Oil on Milk Fat Secretion in the Dairy Cow. *Journal of Dairy Science* 57 (9) : 1046-1049.
- Sundrum A., Büftering L., Henning M., Hoppenbrock K.H. (2000). Effects of on-farm diets for organic pig production on performance and carcass quality. *Journal of Animal Science* 78 (5) : 1199-1205.
- Surai P.F. et Speake B.K. (2008). The natural fatty acid composition of eggs of wild birds and the consequence of domestication. Dans : 'Wild-Type Food in Health Promotion and Disease Prevention'. The Columbus Concept. Watson R.R. and de Meester F. (Eds) Humana Press : 121-138.
- Surai P.F., Papazyan T.T., Sparks N.H.C., Speake B.K. (2008). Simultaneous enrichment of eggs with PUFA's and anti-oxydants: prospects and limitation. Dans : 'Wild-Type Food in Health Promotion and Disease Prevention'. The Columbus Concept. Watson R.R. and de Meester F. (Eds) Humana Press : 139-154.
- Szabó A., Fébel H., Dalle Zotte A., Mézes M., Szendro Zs., Romvári R. (2004). Reversibility of the changes of rabbit muscle fatty acid profile. *Italian Journal of Food Science* 16 (1) : 69-77.
- Szymczyk B. et Pisulewski P.M. (2003). Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition and cholesterol content of hen egg yolks. *British Journal of Nutrition* 90 (1) : 93-99.
- Szymczyk B., Pisulewski P.M., Szczurek W., Hanczakowski P. (2001). Effects of conjugated linoleic acid on growth performance, feed conversion efficiency, and subsequent carcass quality in broiler chickens. *British Journal of Nutrition* 85 (4) : 465-473.
- Takahashi K., Akiba Y., Iwata T., Kasai M. (2003). Effect of a mixture of conjugated linoleic acid isomers on growth performance and antibody production in broiler chicks. *British Journal of Nutrition* 89 (5) : 691-694.
- Thapon J.L., Bourgeois C.M. coordonateurs (1994). L'œuf et les ovoproduits. Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 78 p.
- Tholstrup T., Raff M., Straarup E.M., Lund P., Basu S., Bruun J.M. (2008). An oil mixture with trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid increases markers of inflammation and in vivo lipid peroxidation compared with cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in postmenopausal women. *Journal of Nutrition* 138 (8) : 1445-1451.
- Thompson G.E. et Christie W.W. (1991). Extraction of plasma triacylglycerols by the mammary gland of the lactating cow. *Journal of Dairy Research* 58 (3) : 251-255.
- Thrush A.B., Chabowski A., Heigenhauser G.J., McBride B.W., Or-Rashid M., Dyck D.J. (2007). Conjugated linoleic acid increases skeletal muscle ceramide content and decreases insulin sensitivity in overweight, non-diabetic humans. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 32 (3) : 372-382.
- Tribout T., Caritez J.C. Gogué J., Gruaud J., Bouffaud M., Billon Y., Péry C., Griffon H., Brenot S., Le Tiran M.H., Bussièrès F., Le Roy P., Bidanel J.P. (2004). Estimation par utilisation de semence congelée du progrès génétique réalisé en France entre 1977 et 1998 dans la race porcine Large:White. Journées de la Recherche Porcine en France 36 : 275-282.
- Tricon S., Burdge G.C., Kew S., Banerjee T., Russell J.J., Jones E.L., Grimble R.F., Williams C.M., Yaqoob P., Calder P.C. (2004). Opposing effects of cis-9, trans-11 and trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on blood lipids in healthy humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 80 (3) : 614-620.
- Troegeler-Meynadier A., Nicot M.C., Bayourthe C., Moncoulon R., Enjalbert F. (2003). Effects of pH and Concentrations of Linoleic and Linolenic Acids on Extent and Intermediates of Ruminant Biohydrogenation in Vitro. *Journal of Dairy Science* 86 (12) : 4054-4063.
- Tsiplakou E., Mountzouris K.C., Zervas G. (2006). Concentration of conjugated linoleic acid in grazing sheep and goat milk fat. *Livestock Science* 103 (1-2) : 74-84.
- Ueda K., Ferlay A., Chabrot J., Loor J.J., Chilliard Y., Doreau M. (2003). Effect of Linseed Oil Supplementation on Ruminant Digestion in Dairy Cows Fed Diets with Different Forage: Concentrate Ratios. *Journal of Dairy Science* 86 (12) : 3999-4007.

- Valvo M.A., Lanza M., Bella M., Fasone V., Scerra M., Biondi L., Priolo A. (2005). Effect of ewe feeding system (grass vs concentrate) on intramuscular fatty acids of lambs raised exclusively on maternal milk. *Animal Science* 81 (3) : 431-436.
- Van Nevel C.J. et Demeyer D.I. (1996). Influence of pH on lipolysis and biohydrogenation of soybean oil by rumen contents *in vitro*. *Reproduction Nutrition Development* 36 (1) : 53-63.
- Vlaeminck B., Fievez V., Cabrita A.R.J., Fonseca A.J.M., Dewhurst R.J. (2006). Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4) : 389-417.
- Volatier J.L. (2000). Apports en énergie et nutriments pour les adultes et les enfants. Dans : « Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires », Tec et Doc, Lavoisier, Paris : 101-119.
- Wachira A.M., Sinclair L.A., Wilkinson R.G., Enser M., Wood J.D., Fisher A.V. (2002). Effects of dietary fat source and breed on the carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic content of sheep meat and adipose tissue. *British Journal of Nutrition* 88 (6) : 697-709.
- Watkins B.A., Feng S., Strom A.K., De Vitt A.A., Yu L., Li Y. (2003). Conjugated linoleic acids alter the fatty acid composition and physical properties of egg yolk and albumen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 (23) : 6870-6876.
- Watras A.C., Buchholz A.C., Close R.N., Zhang Z., Schoeller D.A. (2007). The role of conjugated linoleic acid in reducing body fat and preventing holiday weight gain. *International Journal of Obesity* 31 (3) : 481-487.
- Weill P., Schmitt B., Chesneau G., Daniel N., Safraru F., Legrand P. (2002). Effects of introducing linseed in livestock diet on blood fatty acid composition of consumers of animal products. *Annals of Nutrition and Metabolism* 46 (5) : 182-191.
- Whigham L.D., Watras A.C., Schoeller D.A. (2007). Efficacy of conjugated linoleic acid for reducing fat mass: A meta-analysis in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 85 (5) : 1203-1211.
- White S.L., Bertrand J.A., Wade M.R., Washburn S.P., Green Jr J.T., Jenkins T.C. (2001). Comparison of Fatty Acid Content of Milk from Jersey and Holstein Cows Consuming Pasture or a Total Mixed Ration. *Journal of Dairy Science* 84 (10) : 2295-2301.
- Whiting C.M., Mutsvangwa T., Walton J.P., Cant J.P., McBride B.W. (2004). Effects of feeding either fresh alfalfa or alfalfa silage on milk fatty acid content in Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 113 (1-4) : 27-37.
- Whitlock L.A., Schingoethe D.J., Hippen A.R., Kalscheur K.F., Baer R.J., Ramaswamy N., Kasperson K.M. (2002). Fish Oil and Extruded Soybeans Fed in Combination Increase Conjugated Linoleic Acids in Milk of Dairy Cows More Than When Fed Separately. *Journal of Dairy Science* 85 (1) : 234-243.
- Wilfart A., Ferreira J.M., Mounier A., Robin G., Mourot J. (2004). Effets de différentes teneurs en acides gras n-3 sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle de la viande de porc. Journées de la Recherche Porcine en France 36 : 195-202.
- Wilkinson R.G., Fry V.E., Sinclair L.A. (2000). Effect of untreated and formaldehyde treated whole linseed on the performance and fatty acid composition of milk produced by Friesland ewes. Dans : Winter Meeting of the British Society of Animal Production : 152A.
- Wiseman J. (1984). Assessment of the digestible and metabolizable energy of fats for non-ruminants. Dans : "Fats in animal nutrition". 37. Nottingham Easter School on fats in animal nutrition, Nottingham. Butterworths, London (GBR), 521 p.
- Wiseman J. et Cole D. (1983). Interaction between dietary free fatty acids and calcium in growing pigs. Proceedings 5<sup>th</sup> World Conference on Animal Production : 423-424.
- Wolff R.L., Combe N.A., Precht D., Molkentin J., Ratnayake W.M.N. (1998). Accurate determination of trans-18:1 isomers by capillary gas-liquid chromatography on cyanoalkyl polysiloxane stationary phases. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 5 (4) : 295-300.
- Wolff R.L., Bayard C.C., Fabien R.J. (1995). Evaluation of sequential methods for the determination of butterfat fatty acid composition with emphasis on trans-18:1 acids. Application to the study of seasonal variations in french butter. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)* 72 (12) : 1471-1483.
- Wood J.D., Buxton P.J., Whittington F.M., Enser M. (1986). The chemical composition of fat tissues in the pig: Effects of castration and feeding treatment. *Livestock Production Science* 15 (1) : 73-82.
- Wu Z., Ohajuruka O.A., Palmquist D.L. (1991). Ruminal Synthesis, Biohydrogenation, and Digestibility of Fatty Acids by Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 74 (9) : 3025-3034.
- Xiccato G. (1998). Fat digestion. Dans : "The nutrition of the rabbit". de Blas J.C. and Wiseman J., ed., CAB International, Wallingford UK : 55-67.
- Yahyaoui M.H., Sánchez A., Folch J.M. (2002). Rapid communication: partial nucleotide sequence of the goat stearoyl coenzyme A desaturase cDNA and gene structure. *Journal of Animal Science* 80 (3) : 866-867.
- Yannakopoulos A.L., Tserveni-Gousi A.S., Yannakakis S. (1999). Effect of feeding flaxseed to laying hens on the performance and egg quality and fatty acid composition of egg yolk. *Archiv für Geflügelkunde* 63 (6) : 260-263.
- Žan M., Stibilj V., Rogelj I. (2006). Milk fatty acid composition of goats grazing on alpine pasture. *Small Ruminant Research* 64 (1-2) : 45-52.
- Zanini S.F., Colnago G.L., Bastos M.R., Pessotti B.M.S., Casagrande F.P., Lima V.R. (2006). Oxidative stability and total lipids on thigh and breast meat of broilers fed diets with two fat sources and supplemented with conjugated linoleic acid. *LWT (Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie)-Food Science and Technology* 39 (7) : 717-723.
- Zhang R.H., Mustafa A.F., Zhao X. (2006 a). Blood metabolites and fatty acid composition of milk and cheese from ewes fed oilseeds. *Canadian Journal of Animal Science* 86 (4) : 547-556.
- Zhang R.H., Mustafa A.F., Zhao X. (2006 b). Effects of feeding oilseeds rich in linoleic and linolenic fatty acids to lactating ewes on cheese yield and on fatty acid composition of milk and cheese. *Animal Feed Science and Technology* 127 (3-4) : 220-233.
- Zhang H., Guo Y., Yuan J. (2005). Effects of conjugated linoleic acids on growth performance, serum lysozyme activity, lymphocyte proliferation, and antibody production in broiler chicks. *Archives of Animal Nutrition* 59 (5) : 293-301.

## ANNEXE 1

### AGENCE FRANÇAISE DE SECURITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS

**Décision n° 2005/09/372  
relative au groupe de travail « Impact des pratiques en alimentation animale sur  
la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras  
et de l'iode. »**

Le directeur général de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L.1323-4 et R.1323-22 ;

Vu l'arrêté du 23 août 2000 relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu la décision du 17 juillet 2003 établissant une liste d'experts auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 3 septembre 2003 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 15 octobre 2003 modifiant l'arrêté du 3 septembre 2003 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 18 août 2004 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu le règlement intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

#### DECIDE :

**Article premier.** Il est créé sur proposition des comités d'experts spécialisés « Alimentation Animale » et « Nutrition humaine » lors des réunions respectives du 12 Mai 2005 et du 26 Mai 2005 un groupe de travail dénommé « Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode. ». Ce groupe de travail se situe dans le prolongement des réflexions conduites dans le cadre des groupes de travail suivants : « Acides gras Oméga-3 et système cardio-vasculaire : intérêt nutritionnel et allégations » (Juillet 2003) , « Evaluation de l'impact nutritionnel de l'introduction de composés iodés dans les produits agroalimentaires » (Mars 2005), et « Risques et bénéfices pour la santé des acides gras trans apportés par les aliments-Recommandations » (Avril 2005). Il a pour objectifs :

- d'identifier et de caractériser chez toutes les espèces terrestres de rente la variabilité du profil en acides gras et les quantités de lipides déposés ou exportés en réponse aux différentes pratiques d'élevage telles que les facteurs alimentaires (apport quantitatif et qualitatif en acides gras, nature de la ration de base, mode d'apport, interaction entre ces facteurs) et les facteurs liés à l'animal (race, espèce, stade de lactation, physiologie, mécanismes et localisation des lipides).
- de proposer des moyens de prédiction du profil en acides gras de la matière grasse à partir de la composition de l'alimentation chez l'animal
- de caractériser chez la vache laitière les quantités d'iode apportées dans l'alimentation selon la composition du régime et en particulier de l'aliment minéral complémentaire, afin de proposer des pratiques permettant de réduire la teneur en iode du lait de 15 à 20 %

**Article 2.** Le groupe de travail mentionné à l'article premier est composé des membres suivants :

- Membres du comité d'experts spécialisé « Alimentation Animale » :  
M. Michel ETIENNE, M. Michel LESSIRE, M. Francis ENJALBERT, M. Philippe SCHMIDELY, M. Philippe BRUNSCHWIG, M. Daniel SAUVANT.
- Membres du comité d'experts spécialisé « Nutrition Humaine » :  
M. Claude-Louis LEGER.
- Autres experts :  
Mme Dominique HERMIER (INA P-G), Mme Sylvie COMBES (INRA)  
M. Dominique BAUCHART (INRA), M. Yves CHILLIARD (INRA), M. Pierre JUANEDA (INRA), M. Jean-Michel CHARDIGNY (INRA), M. Jacques BARNOUIN (INRA), M. Pierre VALEIX (U557/USEN), M. Gérard PIERONI (Faculté de Médecine de Marseille)

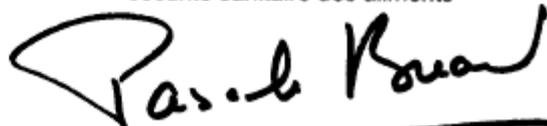
**Article 3.** M. Philippe SCHMIDELY est nommé président du groupe de travail mentionné à l'article premier.

**Article 4.** Les conclusions du groupe de travail seront présentées aux comités d'experts spécialisés « Alimentation animale » et « Nutrition humaine » dans un délai de un an.

**Article 5.** Le secrétariat du groupe de travail mentionné à l'article premier est assuré par la Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires, Unité d'évaluation des risques physico-chimiques.

Fait à Maisons-Alfort, le 23 SEP. 2005

La Directrice générale de l'Agence française de  
sécurité sanitaire des aliments



Pascale BRIAND

## AGENCE FRANÇAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS

---

### Décision modificatrice n° 2006/02/68 relative au groupe de travail « Impacts des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode. »

Le directeur général de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L.1323-4 et R.1323-22 ;

Vu l'arrêté du 23 août 2000 relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu la décision du 17 juillet 2003 établissant une liste d'experts auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 3 septembre 2003 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 15 octobre 2003 modifiant l'arrêté du 3 septembre 2003 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu l'arrêté du 18 août 2004 portant nomination aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;

Vu le règlement intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

#### DECIDE :

**Article premier.** La composition du groupe de travail « Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode. » institué par la décision n° 2005/09/372 du 23 septembre 2005 est modifiée en retirant de ses membres :

- Experts démissionnaires :

Mme Sylvie COMBES (INRA- SRC)

**Article deuxième.** La composition du groupe de travail « Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode. » institué par la décision n° 2005/09/372 du 23 septembre 2005 est modifiée en ajoutant parmi ses membres :

- Autres experts :

M. Jacques MOUROT (INRA SENAH)

M. François MESCHY (UMR INRA-INA P-G Physiologie Laboratoire de la Nutrition et Alimentation)

M. François LEBAS (retraité)

**Article troisième.** Les objectifs du groupe de travail « Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et

de l'iode.» institué par la décision n° 2005/09/372 du 23 septembre 2005 sont modifiés et deviennent ainsi :

- Objectifs du groupe de travail :

Le groupe de travail a pour objectifs :

- d'identifier et de caractériser chez toutes les espèces terrestres de rente la variabilité du profil en acides gras et les quantités de lipides déposés ou exportés en réponse aux différentes pratiques d'élevage telles que les facteurs alimentaires (apport quantitatif et qualitatif en acides gras, nature de la ration de base, mode d'apport, interaction entre ces facteurs), les facteurs liés à l'animal (race, espèce, stade de lactation, physiologie, mécanismes et localisation des lipides, variation individuelle) et les facteurs environnementaux (saison, mode d'élevage).
- de proposer des moyens de prédiction du profil en acides gras de la matière grasse à partir de la composition de l'alimentation chez l'animal et de proposer, si cela est possible, des prédictions de la teneur en AG trans totaux à partir des principaux isomères identifiés.
- d'identifier les impacts des traitements technologiques (industriels et ménagers) sur les profils en acides gras des produits animaux consommés par l'homme et de proposer des recommandations à ce niveau.
- de caractériser chez la vache laitière les quantités d'iode apportées dans l'alimentation selon la composition du régime et en particulier de l'aliment minéral complémentaire, afin de proposer des pratiques permettant de réduire la teneur en iode du lait de 15 à 20 %
- de caractériser chez la poule pondeuse les quantités d'iode apportées dans l'alimentation selon la composition du régime et en particulier de l'aliment minéral complémentaire.

Fait à Maisons-Alfort, le 08 FEV. 2006

La Directrice générale de l'Agence française de  
sécurité sanitaire des aliments

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P Briand', with a horizontal line underneath.

**Pascale BRIAND**

## AGENCE FRANÇAISE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DES ALIMENTS

---

### Décision modificatrice n°2007/02/96 relative au groupe de travail «Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode»

La directrice générale de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,  
Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L.1323-4 et R.1323-22 ;  
Vu l'arrêté du 4 août 2006 portant nomination à des comités d'experts spécialisés de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;  
Vu l'arrêté du 17 octobre 2006 modifié relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;  
Vu l'arrêté du 27 décembre 2006 modifiant l'arrêté du 17 octobre 2006 relatif aux comités d'experts spécialisés placés auprès de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments ;  
Vu les décisions du 27 octobre 2006 et du 19 janvier 2007 portant nomination à des comités d'experts spécialisés de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,  
Vu le règlement intérieur de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments,

#### DECIDE :

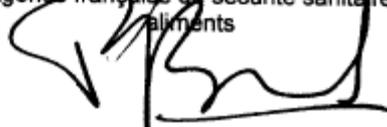
**Article premier.** La date de présentation des conclusions du groupe de travail «Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition des produits animaux destinés à l'homme. Cas des acides gras et de l'iode» aux comités d'experts spécialisés « Alimentation animale » et « Nutrition humaine » instituée par la décision n°2005/09/372 du 23 septembre 2005 est reportée au 31 décembre 2007.

**Article 2.** Le secrétariat du groupe de travail mentionné à l'article premier est assuré par la Direction de l'évaluation des risques nutritionnels et sanitaires, Unité d'évaluation des risques liés à l'alimentation et à la santé animales.

**Article 3.** La présente décision sera publiée au *Bulletin officiel* de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

Fait à Maisons-Alfort, le 13 FEV. 2007

La directrice générale  
de l'Agence française de sécurité sanitaire des  
aliments



Pascale BRIAND

**ANNEXE 2**  
**Nomenclature triviale, normalisée et abrégée des différents AG**

NOMENCLATURE NORMALISEE (acide ....)	NOMENCLATURE TRIVIALE	NOMENCLATURE ABREGEE	
		Chimie	Biochimie
<b>SATURES</b>			
butanoïque	butyrique	4:0	
hexanoïque	caproïque	6:0	
octanoïque	caprylique	8:0	
décanoïque	caprique	10:0	
dodécanoïque	laurique	12:0	
tétradécanoïque	myristique	14:0	
pentadécanoïque	pentadécylrique	15:0	
hexadécanoïque	palmitique	16:0	
heptadécanoïque	margarique	17:0	
octadécanoïque	stéarique	18:0	
eïcosanoïque	arachidique	20:0	
docosanoïque	béhénique	22:0	
tétracosanoïque	lignocérique	24:0	
hexacosanoïque	cérotique	26:0	
<b>MONO-INSATURES</b>			
dodécèn 9c oïque	laurooléique	12:1 Δ9c	ω3 (n-3)
tétradécèn 9c oïque	myristoléique	14:1 Δ 9c	
hexadécèn 9c oïque	palmitoléique	16:1 Δ 9c	
octadécèn 9c oïque	oléique	18:1 Δ 9c	ω9 (n-9)
octadécèn 9f oïque	élaïdique	18:1 Δ 9f	
octadécèn 11f oïque	vaccénique	18:1 Δ 11f	
eïcosén 9c oïque	gadoléique	20:1 Δ 9c	
docosén 9c oïque	cétoléique	22:1 Δ 9c	
docosén 13c oïque	érucique	22:1 Δ 13c	ω9 (n-9)
<b>POLY-INSATURÉS</b>			
octadécadién 9c, 12c oïque	linoléique	18:2 Δ 9c,12c	ω6 (n-6)
octadécadién 9c, 11f oïque	ruménique	18:2 Δ 9c,11f	
octadécatrièn 9c, 12c, 15c oïque	α-linolénique	18:3 Δ 9c,12c,15c	ω3 (n-3)
octadécatrièn 6c, 9c, 12c oïque	γ-linolénique	18:3 Δ 6c,9c,12c	ω6 (n-6)
eïcosatétraèn 5c,8c,11c,14c oïque	arachidonique	20:4 Δ 5c,8c,11c,14c	ω6 (n-6)
eïcosapentaèn 5c,8c,11c,14c,17c oïque	EPA	20:5 Δ 5c,8c,11c,14c,17c	ω3 (n-3)
docosahexaèn 4c,7c,10c,13c,16c,19c oïque	DHA	22:6 Δ 4c,7c,10c,13c,16c,19c	ω3 (n-3)

### ANNEXE 3

**Tableau synthétique des apports conseillés en AG chez l'adulte (Legrand et al., 2001)**

Le tableau rassemble les apports nutritionnels conseillés (ANC 2001) en AG chez l'adulte pour les AGS, les AGMI, le LA, l'ALA, le DHA, l'ensemble des AGPI à longue chaîne (AGPI-LC n-6 et n-3) et les AG totaux (Legrand et al., 2001). Les ANC y sont déclinés pour l'homme, la femme, la femme enceinte, la femme allaitante et le sujet âgé.

En MJ.j <sup>-1</sup> (kcal.j <sup>-1</sup> )		AGS	AGMI	LA	ALA	AGPI-LC	Dont DHA	Total
<b>Homme adulte</b> 9,2 (2200)	g.j <sup>-1</sup>	19,5	49	10	2	0,5	0,12	81
	% AE**	8	20	4	0,8	0,2	0,05	33
<b>Femme adulte</b> 7,5 (1800)	g.j <sup>-1</sup>	16	40	8	1,6	0,4	0,1	66
	% AE	8	20	4	0,8	0,2	0,05	33
<b>Femme enceinte</b> 8,6 (2050)	g.j <sup>-1</sup>	18	45,5	10	2	1	0,25	76,5
	% AE	8	20	4,4	0,9	0,4	0,1	33,7
<b>Femme allaitante</b> 9,4 (2250)	g.j <sup>-1</sup>	20	50	11	2,2	1	0,25	84,2
	% AE	8	20	4,4	0,9	0,4	0,1	33,7
<b>Sujet âgé</b> 7,1 (1700)	g.j <sup>-1</sup>	15	38	7,5	1,5	0,4	0,1	62,4
	% AE	8	20	4,4	0,9	0,4	0,1	33,7

AGS: AG saturés ; AGMI: AG mono-insaturés (acide oléique); AGPI-LC: polyinsaturés à longue chaîne (> 18 carbones); DHA: acide docosahexaénoïque.

Ces valeurs sont obtenues par évaluation scientifique des données disponibles et établies sur la base :

- d'un apport énergétique (AE) de la ration journalière de 9,2 MJ (2200 kcal) pour l'homme, 7,5 MJ (1800 kcal) pour la femme, 8,6 MJ (2050 kcal) pour la femme enceinte, de 9,4 MJ (2250 kcal) pour la femme allaitante et de 7,1 MJ (1700 kcal) pour le sujet âgé ;
- d'un apport énergétique d'origine lipidique de 33 % de l'AE ;
- d'un rapport 18:2 n-6/18:3 n-3 égal à 5.

NB : l'apport énergétique considéré ici est l'apport énergétique sans alcool.

**ANNEXE 4**  
**Influence de la programmation de température**  
**sur l'ordre d'élution des isomères du 18:1**

Programmation de température	60°-20°/min 190°	60°-15°/min 165°- 2°/min 225°
Ordre d'élution	4t<5t<6,7,8t<9t<10t<11t <12t<9c+13t+14t<15t<11c <12c<13c<14c+16t<15c	4t<5t<6,7,8t<9t<10t<11t<12t <13t+14t<9c+15t<11c <12c<13c<14c+16t<15c
% erreur sur les <i>trans</i>	40 %	5 %

## ANNEXE 5

### Estimation de la répartition de la livraison de lait par période et par grand système d'alimentation

#### La répartition de la collecte laitière nationale

La moyenne des livraisons mensuelles est calculée à partir des 5 séries de collecte mensuelle des campagnes laitières 2002/2003 à 2006/2007 (Office de l'Élevage, 2002 à 2007 ; tableau i). Son évolution (figure i) montre un pic situé en général au mois de mai et un étiage au mois d'août. La collecte trimestrielle montre la prépondérance de la livraison au printemps ; les livraisons d'automne et d'hiver sont proches en volume livré avec environ un quart de la collecte annuelle chacune. La livraison d'été reste minoritaire.

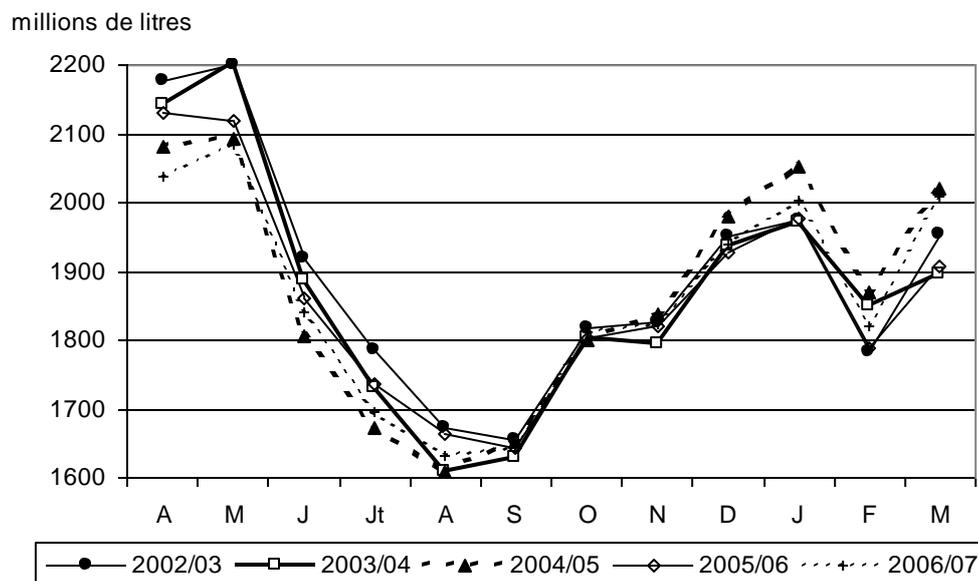
**Tableau i : Collecte nationale mensuelle et par saison sur cinq campagnes laitières (de 2002/2003 à 2006/2007)**

Mois	Collecte moyenne 2002/07 (millions de l)	Part annuelle (%)	Saison	Collecte moyenne par saison (millions de l)	Part annuelle (%)
<b>Avril</b>	2114	9,4 ± 0,2	<b>Printemps</b>	6116	27,2 ± 0,5
<b>Mai</b>	2140	9,5 ± 0,2			
<b>Juin</b>	1863	8,3 ± 0,2			
<b>Juillet</b>	1724	7,7 ± 0,2	<b>Été</b>	5005	22,3 ± 0,3
<b>Août</b>	1637	7,3 ± 0,1			
<b>Septembre</b>	1644	7,3 ± 0,0	<b>Automne</b>	5574	24,8 ± 0,2
<b>Octobre</b>	1807	8,0 ± 0,0			
<b>Novembre</b>	1820	8,1 ± 0,1			
<b>Décembre</b>	1947	8,7 ± 0,1			
<b>Janvier</b>	1995	8,9 ± 0,2	<b>Hiver</b>	5774	25,7 ± 0,6
<b>Février</b>	1822	8,1 ± 0,2			
<b>Mars</b>	1957	8,7 ± 0,3			

*D'après statistiques de l'Office de l'Élevage*

En scindant l'année en deux grandes périodes (« hiver » et « été »), la livraison de lait d'hiver (octobre à mars) représente  $50,5 \pm 0,7$  % de la collecte nationale. La livraison de lait d'été (avril à septembre) représente  $49,5 \pm 0,7$  % de la collecte nationale.

Figure i : Evolution mensuelle moyenne de collecte laitière nationale sur 5 campagnes (2002/2003 à 2006/2007)



### Les systèmes fourragers en élevages bovins laitiers

A partir de la typologie des exploitations bovines laitières établie sur des caractéristiques structurelles et fonctionnelles (Perrot et Fraysse, 2002), les exploitations laitières bovines peuvent être réparties par type de système fourrager en considérant :

- les conditions de production caractérisées par les zones de plaine et celles de piémont-montagne,
- l'intensification de la production fourragère caractérisée par la part de surface de maïs dans la surface fourragère : un système "maïs" avec plus de 30 % de maïs dans la Surface Fourragère Principale (SFP), un système "herbe-maïs" avec 10 à 30 % de maïs dans la SFP, un système "herbager" avec une part de maïs dans la SFP inférieure à 10 %.

Le traitement de données de l'enquête des structures (Agreste, 2006) et de l'Office de l'Elevage (2006) aboutit à la répartition suivante entre les différents systèmes fourragers (tableau ii) à partir des exploitations laitières ayant des vaches laitières et un quota de production.

**Tableau ii : Répartition des exploitations bovines laitières en 2005.**

Zone	Système fourrager	Quota renseigné	Exploitations		Effectif vaches	Quota (L/élevage)	Proportion du quota total (%)
			Nombre	(%)			
Plaine	Maïs	non	4687	13	48	-	-
		oui	32566	87	45	290720	47,3
	Herbe-Maïs	non	3010	11	41	-	-
		oui	23673	89	40	241430	28,5
	Herbager	non	2044	21	23	-	-
		oui	7742	79	32	165297	6,4
Montagne -Piémont	Herbe-Maïs	non	721	10	34	-	-
		oui	6319	90	37	219565	6,9
	Herbager	non	2231	14	32	-	-
		oui	13342	86	32	153608	10,2
Toutes	Non autonome	non	248	28	46	-	-
		oui	636	72	35	220590	0,7
Toutes	Tous	non	12939	13	40	-	-
		oui	84278	87	39	237783	100

(Source : Agreste enquête structures (2006) – Office de l'Élevage (2006) – traitement Institut de l'Élevage)

La provenance du lait selon les systèmes fourragers est connue pour 87 % des élevages ayant un quota en 2005. D'un système fourrager à l'autre, la part d'élevages dont le quota n'est pas connu est régulièrement autour de 12 % sauf pour les systèmes herbagers de plaine pour lesquels elle est de 21 %. Pour chacune des classes de système fourrager, les effectifs de vaches des exploitations à quota non renseigné sont très proches de ceux des élevages dont le quota est connu sauf pour les systèmes herbagers de Plaine.

Des élevages à chargement supérieur à 2,5 UGB/ha ou à surface fourragère nulle ont été identifiés ; ils sont nommés système « non autonome » et font appel à des achats de co-produits, d'aliments concentrés en grande quantité. Ils ne représentent qu'une fraction infime des élevages laitiers (< 1 %).

Le quota total des élevages à quota connu est de 20040 millions de litres. Ce volume représente 87 % de la référence nationale 2005 utilisable (quantité nationale garantie + ajustement de fin de campagne ; 23,9 millions de tonnes). Les éleveurs laitiers français livrent une quantité de lait annuelle très proche de leur quota (sous réalisation de 1,1 % en 2005). L'évaluation de la partition du lait produit par système fourrager peut être faite à partir de la répartition du quota connu par type de système fourrager.

Toutes régions confondues, il est ainsi estimé que les systèmes « maïs » produisent la moitié du lait annuellement collecté (47,3 %) ; les systèmes mixte "herbe-maïs" en livrent plus d'un tiers (35,4 %) et les systèmes herbagers 16,6 %.

### **La répartition dans l'année du lait collecté par système fourrager**

La courbe de livraison d'un système fourrager dépend des rations pratiquées et de la période de vêlages observée. Les grands systèmes fourragers retenus précédemment sont caractérisés par la nature de la ration fourragère hivernale et la livraison trimestrielle de lait (tableau iii) observée en élevages.

**Tableau iii : Répartition trimestrielle de la livraison de lait par système fourrager.**

Zone	Système fourrager	Fourrage hivernal	Période principale de vêlages	Part de la collecte annuelle (%)			
				Avril-juin	Juill-sept.	Oct-déc.	Janv-mars
Plaine	Maïs	>2/3 ens. maïs	Automne-Hiver	27	20	25	28
	Herbe-Maïs	50 % maïs – 50 % ens. herbe	Automne-Hiver	28	22	21	29
	Herbager	2/3 ens. herbe - foin	Automne-Hiver	28	23	22	27
Montagne -Piémont	Herbe-Maïs	50 % maïs – 50 % ens. herbe	Automne-Hiver	28	22	21	29
	Herbager	Foin - regain	Automne-Hiver	27	25	25	23
Toutes	Non autonome	>2/3 ens. maïs	Automne-Hiver	27	20	25	28

(source : compilation de données d'élevages, Institut de l'Elevage)

Même s'il existe une grande diversité de période de vêlages pouvant être choisie par les éleveurs dans un système fourrager, la tendance générale observée est celle de vêlages d'automne-hiver. En système "maïs", la concentration est un peu plus forte en automne qu'en système "herbager" où un glissement vers plus de vêlages en hiver est observé. La part de lait produit en été est plus importante pour les systèmes herbagers et mixtes "herbes-maïs" comparativement à celle produite dans le système "maïs". Les systèmes herbagers de piémont-montagne ont une production de lait plus régulièrement répartie que ceux introduisant plus ou moins d'ensilage de maïs dans leur système.

Les parts de lait d'été (avril à septembre) et de lait d'hiver (octobre à mars) par système fourrager sont estimées (tableau iv) en combinant la répartition trimestrielle par système fourrager et la part de lait annuellement produite par système fourrager. Cette estimation aboutit à une répartition entre laits d'été et d'hiver de 49 et 51 % respectivement, comme observé en moyenne dans la collecte nationale.

**Tableau iv : Répartition de la collecte par système fourrager entre lait d'été et lait d'hiver.**

Zone	Système fourrager	Lait du système en part de la collecte annuelle nationale (%)			Lait du système en part du lait par période (%)	
		Lait annuel	Lait d'été	Lait d'hiver	Lait d'été	Lait d'hiver
Plaine	Maïs	47,3	22,2	25,1	45,5	49,0
	Herbe-Maïs	28,5	14,3	14,2	29,2	27,8
	Herbager	6,4	3,3	3,1	6,7	6,1
Montagne -Piémont	Herbe-Maïs	6,9	3,5	3,4	7,1	6,7
	Herbager	10,2	5,3	4,9	10,9	9,6
Toutes	Non autonome	0,7	0,3	0,4	0,7	0,7
Total		100	49	51	100	100

Le lait collecté dans le système "maïs" de plaine est majoritaire dans la collecte nationale. Il est produit par une ration fourragère constituée à plus de 70 % de maïs fourrage en automne-hiver. Dans ce système, les vaches pâturent au printemps ; pour une partie des troupeaux, l'apport de fourrage complémentaire est assuré par de l'ensilage d'herbe ou de maïs fourrage en été (zones séchantes). Le lait d'hiver représente 25,1 % du lait collecté en France et 49,0 % du lait d'hiver collecté.

Le lait issu des systèmes mixtes "herbe-maïs" de plaine et de Piémont représente un tiers de la collecte nationale. Il est produit en automne-hiver par une ration fourragère constituée de 25 % à 2/3 de maïs fourrage en complément d'ensilages d'herbe et de foin. Dans ces systèmes, les vaches pâturent au printemps et en été ; l'apport de fourrage complémentaire en été est peu fréquent hors années climatiques exceptionnelles. Le lait d'hiver représente 17,6 % du lait collecté en France et 34,5 % du lait d'hiver collecté.

Le lait provenant des systèmes "herbagers" de plaine et de Piémont-montagne constitue une plus faible partie de la collecte nationale (16,6 %). Il est produit en automne-hiver à partir de rations ne comportant pas ou pratiquement pas de maïs ensilage ; selon les régions, la ration est constituée d'ensilages d'herbe et de foin-regain ou de foin-regain (régions à contrainte topographique ou en AOC réglementant le mode de conservation de l'herbe). Dans ces systèmes, les vaches pâturent au printemps et en été, sans apport de fourrages complémentaires. Le lait d'hiver représente 8,0 % du lait collecté en France et 15,7 % du lait d'hiver collecté.



Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
27-31 avenue du général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)