

Engraisser et finir au pâturage des ovins et des bovins

Quels effets sur les qualités des viandes ?



Étude menée de mars à décembre 2019 par Nathan Morsel



SOMMAIRE

Contexte de l'étude	7
I) Aux origines de la viande	8
A) Structure du muscle	8
B) Composition biochimique du muscle	9
1) Les fibres musculaires	
2) Le tissu conjonctif	
i) Le collagène	
ii) L'élastine	
iii) Les protéoglycanes	
3) Les lipides intramusculaires	
C) Cinétique de développement des ruminants et évolution différentiel des différents tissus du muscle	14
1) La notion de précocité	
2) Effet de la sélection génétique sur la conformation bouchère	
3) Evolution de la composition corporelle au cours de la croissance	
D) Abattage et rigidité post mortem	20
1) Evolution biochimique	
2) Conséquences structurales	
3) Cinétique du métabolisme post mortem en fonction du type de fibre	
4) Défauts de viande en lien avec des pH anormaux	
5) Cinétique de refroidissement et qualité de la viande	
E) La maturation de la viande	23
1) Définition	
2) Systèmes enzymatiques	
3) Evolution physico-chimique	
4) Evolution structurale	
II) Comment finir intégralement des animaux au pâturage	25
A) Le pâturage tournant, la pratique centrale de ces systèmes engraisseurs	25
1) Les deux cycles de vie des graminées	
2) La complémentarité des graminées et du trèfle blanc	
3) La courbe de croissance de l'herbe d'André Voisin	
4) Temps de retour et temps d'occupation	
5) Comparaison pâturage tournant et pâturage continu	

B) La gestion du pâturage pour engraisser et finir des ovins et des bovins.....	30
1) Surface de base et îlots	
2) Déprimage et étêtage	
3) Pâturage tournant de printemps et gestion de l'épiaison	
4) Pâturage tournant d'été et rembrayage possible des parcelles	
5) Pâturage d'automne et hivernal	
6) Leviers techniques pour maintenir une flore équilibrée dans les prairies permanentes	
i) Déprimage et mise à ras pendant hiver	
ii) Mode de pâturage et ordre des parcelles	
iii) Alternance fauche/pâturage	
C) Adaptation zootechnique des systèmes d'élevage à la finition au pâturage	39
1) Choix des dates de vêlages et d'agnelages	
2) Critères de sélection des éleveurs	
i) Choix de la race	
ii) Choix du renouvellement et des mâles reproducteurs	
3) Habituer les jeunes animaux au pâturage	
D) Résultats de la finition au pâturage	42
1) Bovins	
i) Calendrier fourrager type pour des réformes finies à l'herbe	
ii) Résultats zootechniques	
2) Ovins	
i) Calendrier fourrager type agnelage de printemps	
ii) Résultats zootechniques	
III) Qualité nutritionnelle des viandes	48
A) Déterminants de la qualité nutritionnelle	48
1) Protéines et acides aminés	
2) Lipides et acides gras	
i) Diversité des lipides	
ii) Digestion et biohydrogénation ruminale des lipides	
3) Vitamines et minéraux	
B) Lien entre facteurs d'élevage et qualité nutritionnelle des viandes	55
1) Fonction du type d'animal	
2) Fonction du type d'alimentation et des conditions d'élevage	
i) Modification du profil en acides gras	

ii) Modification des teneurs en minéraux et vitamines

IV) Qualités organoleptiques des viandes	62
A) Définition des différentes qualités organoleptiques et de leurs déterminants	63
1) Couleur	
2) Tendreté	
3) Jutosité	
4) Flaveur	
B) Lien entre facteurs d'élevage et qualités organoleptiques des viandes	67
1) Fonction du type d'animal	
2) Fonction du type d'alimentation	
i) Couleur	
ii) Flaveur	
iii) Jutosité et tendreté	
3) Fonction des pratiques d'élevage	
V) Qualité sanitaire des viandes	73
A) Définition	73
B) Lien entre facteurs d'élevage et qualité sanitaire	74
VI) Stabilité oxydative des viandes	75
A) Déterminants de la stabilité oxydative	75
1) Définition	
2) Origines du stress oxydatif	
3) Origines et productions des antioxydants	
B) Lien entre facteurs d'élevage et qualité nutritionnelle des viandes	77
1) Fonction du type d'animal	
2) Fonction du type d'alimentation	
3) Fonction des pratiques d'élevage	
C) Point sur les facteurs technologiques	79
VII) Qualité des carcasses	80
A) La conformation et l'état d'engraissement, deux éléments déterminants pour la rémunération des éleveurs en filière longue	80
B) Qualité des carcasses et finition au pâturage	82
C) Quel est l'avis des bouchers par rapport aux carcasses d'animaux finis à l'herbe ?..	84

1) Contexte	
2) Retours des découpes	
i) Découpe d'une vache intégralement finie à l'herbe	
ii) Découpe et dégustation comparées d'agneaux	
VIII) Efficacité économique et environnementale des systèmes d'élevage avec finition au pâturage	87
A) Méthodologie et système de calcul économique	87
B) Présentation des trois systèmes modélisés	90
1) Présentation générale	
2) Système de cultures	
3) Système d'élevage des mères et des veaux	
4) Engraissement des taurillons (spécifique système auge)	
5) Engraissement des génisses (spécifique systèmes auge et herbe)	
6) Engraissement des réformes	
7) Bilan fourrager	
C) Présentation et discussion des résultats économiques et environnementaux	95
1) Résultats économiques	
i) Références de prix	
ii) Formation du produit brut et de la valeur ajoutée	
iii) Comparaison économique rapportée à la vache mère	
2) Résultats des bilans d'énergie et de GES	
Conclusion	104
Bibliographie	107

Contexte de l'étude

Le Limousin, ex-région comprenant les départements de la Creuse, de la Corrèze et de la Haute Vienne, se caractérise par une forte proportion de sa surface agricole en prairie, puisqu'on l'estimait en 2013 à environ 84%. Sa part de prairies permanents reste également importante, puisque seuls 22% de ces espaces de prairies sont temporaires (Agreste, 2013). L'élevage y demeure l'activité agricole majoritaire, loin devant les cultures fruitières et maraîchères, avec une prédominance des troupeaux allaitants, bovins et ovins. Si les élevages ovins demeurent centrés vers la production d'agneaux lourds élevés en 4 à 6 mois pour la plupart, les élevages bovins sont plus diversifiés, avec la production de brouillards (majoritaire), de veaux sous la mère, de génisses de boucherie, de taurillons, de bœufs et d'animaux de réformes. Dans le cas des bovins, les systèmes naisseurs sont les plus fréquents, les animaux étant vendus maigres aux filières d'engraissement en Italie.

Malgré la forte disponibilité en prairies sur le territoire, ces dernières restent peu utilisées pour la finition d'animaux, donc dans la phase finale de l'engraissement, alors même que le Limousin reste, dans le cas des bovins, largement déficitaire en animaux finis et dépendant de la filière brouillard, connue pour la volatilité de ses prix. Pour ce qui est des ovins, la proportion d'agneaux finis au pâturage est variable selon les années, du fait d'une pousse de l'herbe variable d'une année à une autre. Une part majoritaire des agneaux est donc intégralement engraisée ou bien finie en bergerie. Ainsi, la majeure partie du temps, les animaux démarrent leur engraissement en extérieur, au pâturage, avant de rentrer en stabulation pour une finition sur la base d'une ration plus énergétique (mélanges de céréales, foin, maïs ensilage...) quand ils ne passent pas la phase d'engraissement et de finition en bâtiment.

Partant du constat de la sous-exploitation des prairies, et notamment pour le pâturage, les éleveurs de l'ADAPA, membre de la Fédération des CIVAM en Limousin, ont donc travaillé sur une méthode permettant une exploitation rationnelle et efficace des prairies majoritairement permanentes du Limousin, en intégrant dans certains cas des végétations atypiques de type landes, tourbières et sous bois. Si les modes d'exploitation varient forcément d'une exploitation à une autre, ils peuvent être toutefois regroupés sous le terme de pâturage tournant, qui cherche à optimiser la pousse de l'herbe afin de la faire coïncider avec les besoins des animaux, tout en observant un temps de repos suffisant pour permettre à l'herbe de reconstituer ses réserves. Si l'objectif initial était de maximiser la part d'herbe dans la ration, les éleveurs les plus avancés dans la gestion du pâturage se sont progressivement aperçus qu'ils parvenaient à finir intégralement à l'herbe certains animaux, avec des poids carcasses et niveaux d'engraissements similaires à ce qu'ils pouvaient obtenir avec une phase d'engraissement plus classique en bâtiment, avec une ration bien moins coûteuse mais aussi davantage de temps, et avec des résultats différents selon le type d'animaux (génisses, bœufs, agneaux mâles ou femelles, réformes...). Du fait d'un processus d'engraissement et de finition très différent (animaux dehors la plupart du temps, engraissement plus lent, nature de la ration, variation de la disponibilité en herbe au cours de l'année...), on peut s'attendre à ce que les produits issus d'animaux finis au pâturage présentent des différences marquées par rapport à des animaux engraisés et finis en stabulation.

L'objectif de ce travail est ici double, puisqu'il s'agit de mener de front des entretiens avec des éleveurs réalisant de la finition au pâturage, afin de détailler leurs pratiques et de caractériser leurs effets sur les produits issus de ce type de finition, et de réaliser un travail

bibliographique qui permettrait d'avoir des pistes quant à l'effet de la finition au pâturage, grâce à des expérimentations antérieures sur ce sujet, ainsi que des recherches plus fondamentales sur la physiologie et la nutrition des animaux. Ce double travail permettrait ainsi d'avoir des pistes quant à l'effet de la finition au pâturage sur la qualité de la viande.

On s'attachera dans un premier temps à rappeler la structure du muscle, à étudier ses différents constituant et les processus à l'origine de la transformation en viande et enfin de mesurer l'effet des facteurs d'élevages sur les critères de la qualité de la viande. Ces résultats seront ensuite mis en perspective avec la caractérisation des pratiques des éleveurs finissant des animaux au pâturage, afin de tirer des conclusions quant à l'effet de cette pratique sur la qualité de la viande.

I) Aux origines de la viande

Les caractéristiques des muscle squelettiques, et leur variation, vont être à l'origine de la qualité de la viande, après abattage, maturation, découpe et cuisson des carcasses. Le but de cette première partie est de présenter les différents tissus formant le muscle squelettique, dont les proportions seront dépendantes de différents facteurs d'élevages et du type de muscle, et les processus chimiques conduisant à la transformation du muscle en viande.

A) Structure du muscle

Le muscle squelettique des animaux terrestres, et donc des ruminants, est constitué de fibres musculaires groupées parallèlement en faisceaux. Chaque niveau de structure est enveloppé par une gaine conjonctive. On distingue ainsi, du centre du muscle vers la périphérie, l'endomysium qui enveloppe chaque fibre musculaire (10 % du tissu conjonctif présent dans la viande), le périmysium qui délimite les faisceaux de fibres (90 % du tissu conjonctif présent dans la viande), et enfin l'épimysium qui est l'enveloppe externe du muscle (paré au moment de la découpe et donc absent de la viande). On trouve également deux types de tissus adipeux, l'un intermusculaire (ou marbré) situé entre les faisceaux de fibres, l'autre intramusculaire (ou persillé) situé à l'intérieur même des fibres.

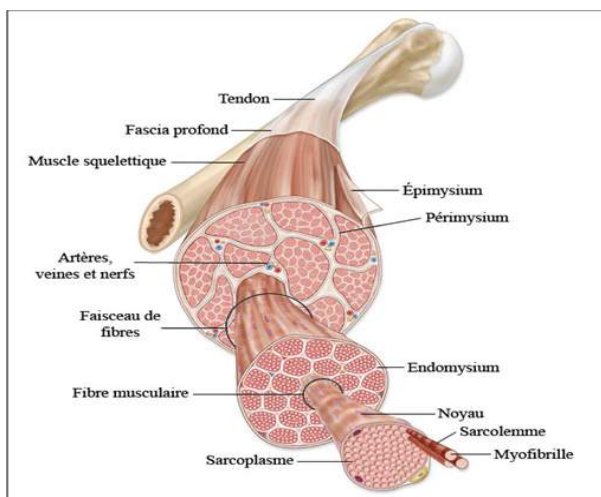


Schéma de fibres musculaires (Source : researchgate.net)

Les fibres musculaires sont des cellules plurinucléées allongées et fusiformes d'un diamètre de 10 à 200 μm et d'une longueur pouvant aller jusqu'à plusieurs centimètres chez les mammifères. Dans toutes les espèces, la taille des fibres augmente avec l'âge et constitue un paramètre important de la croissance musculaire. Elles sont délimitées par leur membrane plasmique aussi appelée sarcolemme. L'aire de section transversale (AST) varie selon le type de fibre et sera d'une grande importance notamment dans la délimitation de la tendreté de la viande.

Pour toute espèce, les myofibrilles alignées en faisceaux occupent la presque totalité du volume intracellulaire des fibres musculaires. Elles ont un diamètre d'environ 1 μm et sont constituées de sous unités appelées myofilaments, eux mêmes de deux types :

- les myofilaments fins formés d'actine (protéine régulatrice de la contraction musculaire), de troponine et de tropomyosine à ses extrémités
- les myofilaments épais formés d'un assemblage de molécules de myosine catalysant la dégradation de l'ATP en ADP, fournissant ainsi l'énergie chimique nécessaire à la contraction musculaire

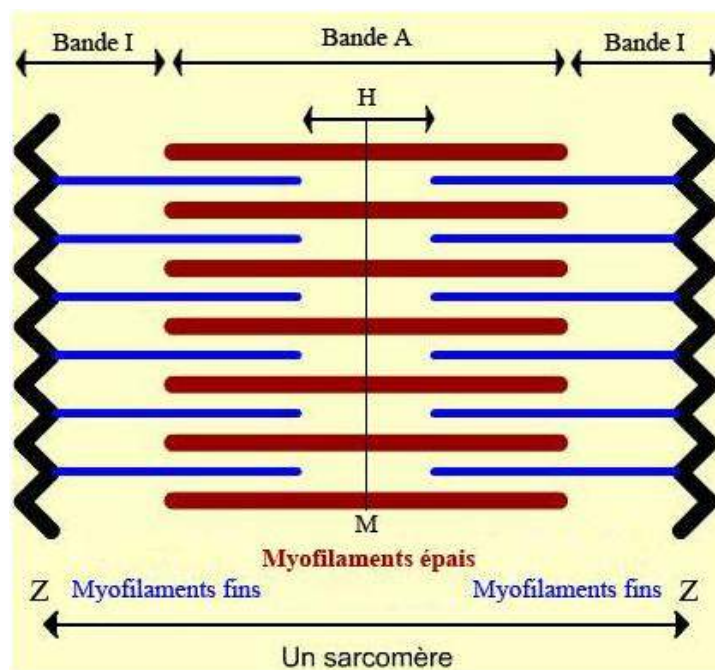


Schéma d'un sarcomère, unité de base des fibres musculaires (Source : planet-vie.ens.fr)

Le sarcoplasme, cytoplasme des fibres musculaires, contient de très nombreuses protéines, dont les enzymes de la glycolyse et le myoglobine qui transporte l'oxygène jusqu'aux mitochondries et pigmente les cellules en rouge. On y trouve également des granules de glycogène, principale réserve énergétique, ainsi que des gouttelettes lipidiques.

B) Composition biochimique du muscle

Les muscles squelettiques contiennent environ 75 % d'eau, 20 % de protéines, 1 à 10 % de lipides et 1 % de glycogène. L'objectif de cette partie est la description des propriétés

biochimique des trois tissus formant le muscle : les fibres musculaires, le tissu conjonctif intramusculaire et le tissu adipeux intramusculaire.

1) Les fibres musculaires

On trouve au sein des différents muscles des fibres musculaires de différente nature, dont la composition biochimique et le fonctionnement métabolique vont présenter de fortes variations. Ces caractéristiques contractiles différentes dépendent de l'isoforme majoritaire des chaînes lourdes de myosine présentes au sein des filaments épais. On en trouve quatre dans les muscles matures des mammifères, à l'origine de quatre types de fibres différentes et classées selon leur vitesse de contraction : lente (fibre I) ou rapide (fibres IIa, IIx et IIb).

En terme de fonctionnement métabolique et d'impact sur la qualité de la viande, on peut schématiquement ne différencier que deux types de fibres : les **fibres rouges de type oxydatif** (de type I) et les **fibres blanches de type glycolytique** (de type IIx). Les fibres de type IIa ont un fonctionnement intermédiaire entre les deux précédents et les fibres IIb ne sont pas synthétisées par les ruminants.

Les fibres de type I et IIx sont caractérisées par des fonctionnements métaboliques très différents. Les deux voies majoritaires pour la production d'ATP, et donc d'énergie disponible pour la contraction musculaire, sont la **voie glycolytique** et la **voie oxydative** :

- la première se fait de manière **anaérobie**, c'est à dire sans oxygène, et le **substrat principal de la synthèse d'ATP est le glucose**, stocké dans la cellule musculaire sous forme de glycogène (polymère de molécules de glucose) ou bien apporté par le sang, dégradé en pyruvate (glycolyse). Les fibres de type II sont associées à une contraction rapide mais avec peu de résistance à l'effort.

- la seconde se fait de manière **aérobie**, en présence d'oxygène, et oxyde le **pyruvate issu de la glycolyse, les acides gras** (stockés dans la cellule sous forme de gouttelette ou bien apportés par le sang), **les corps cétoniques** (acétate, propionate et butyrate et qui sont les métabolites circulants majoritaires chez les ruminants) et **certains acides aminés**. Ce processus d'oxydation se déroule dans les mitochondries, petits organites présents dans le cytosol des cellules musculaires. Les fibres de type I sont associées à contraction lente avec une forte résistance à l'effort.

Ces deux voies métaboliques sont antagonistes puisqu'il a été prouvé qu'une activité oxydative du muscle inhibe la glycolyse, alors qu'inversement la glycolyse va inhiber l'oxydation des différents substrats énergétiques.

On peut donc observer les différences suivantes :

	Fibre I (rouge)	Fibre II (blanche)
Métabolisme oxydatif	+++++	+
Métabolisme glycolytique	+	+++++
Glycogène	+	+++++
Triglycérides (gouttelettes lipides)	+++++	+

Phospholipides (présents dans les membranes cellulaires)	+++++	+
Mitochondrie	+++++	+
Myoglobine	+++++	+

La plupart du temps, l'AST des fibres oxydatives rouges est inférieure à celle des fibres blanches. Cette hiérarchie de taille de fibres n'est toutefois pas absolue et peut varier d'un muscle à un autre. Par exemple, dans le muscle *Rectus Abdominis* du bovin, ce sont les fibres oxydatives rouges qui présentent l'AST la plus importante (Guilemin et al., 2009).

2) Le tissu conjonctif

Le tissu conjonctif est un tissu lâche qui entoure les fibres musculaires et les faisceaux de fibres. Il est constitué de cellules sécrétrices (les fibroblastes) et d'une matrice extracellulaire (MEC) constituée d'un réseau de **fibres de collagène et d'élastine** (uniquement dans le périmysium et épimysium) empaquetées dans une matrice de **protéoglycanes et de glycoprotéines**. Ce réseau supra moléculaire peut à la fois résister et transmettre les forces de contraction par les fibres musculaires.

i) Le collagène

La biosynthèse du collagène est un processus complexe, puisqu'il existe pas moins de 19 différents types de collagènes de vertébrés avec des distributions spécifiques selon les tissus et des propriétés spécifiques (Van der Rest et Garonne, 1991). Dans le muscle squelettique, environ 10 types de collagènes ont été identifiés, dont 7 majoritaires qui se différencient par leur forme et structure (revue de Gillies et Lieber, 2011) :

Type de collagène	Structure	Localisation	
		Périnysium	Endomysium
I	Fibrillaire	++	+
III	Fibrillaire	+	+
IV	Feuillet	-	+
V	Fibrillaire	+	+
VI	Collier de perles	+	+
XII	FACIT *	+	+ (poulet) - (bovin)
XIV	FACIT *	+	+ (poulet) - (bovin)

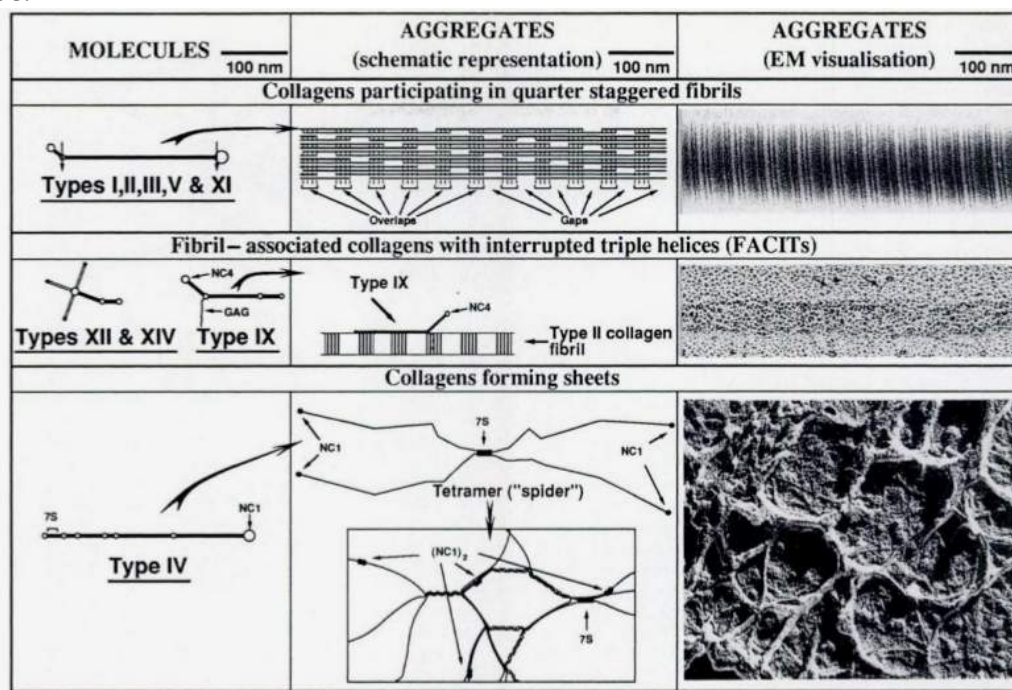
Structure et localisation des différents types de collagènes présents dans le muscle squelettique. D'après Nakajima et al., 1998 et Nishiumi, 1999.

*** fibril-associated collagen with interrupted triple helix.**

- Les fibres de collagène de type I, III et V (dites fibrillaires), toujours associées entre elles, sont les fibres majoritaires. Elles forment la structure de base du tissu conjonctif et sont liées entre elles par des liaisons covalentes, formant ainsi des fibrilles stabilisées par des liaisons intramoléculaires (ponts disulfures ou hydrogènes) ou intermoléculaires. Pour ces dernières sont aussi appelées « cross links » ou bien liaisons de réticulation, cinq types différents ont été identifiés. Le type majoritaire est la pyridinoline (Kuypers et Kurth, 1995), en particulier à l'âge adulte. **Représentation schématique de l'évolution de la dureté du collagène au cours de la vie d'un ruminant (d'après Listrat, communication personnelle)**

- Les fibres de type IV (dites en « nid d'abeilles ») ne sont présentes que dans l'endomysium et sont associées à l'amortissement des phénomènes de contraction/décontraction.

- Les fibres de type XII et XIV (ou FACIT) se mélangent avec le collagène fibrillaire et leurs extrémités se fixent à d'autres types de constituants, par exemple les adipocytes intramusculaires. De trop fortes concentrations peuvent être à l'origine d'un tissu conjonctif plus rigide.



Type et structure des 3 principales familles de collagène (d'après Van der Rest et Garonne, 1991)

ii) L'élastine

L'élastine n'est présente dans le muscle que dans l'épimysium et le pérимysium (Rowe, 1986). Elle constitue le matériau amorphe des fibres élastiques du tissu conjonctif, constituées par l'assemblage de fibrilles de glycoprotéines (Ross et Bornstein, 1969). Bien que l'élastine présente une composition en acides aminés voisine de celle du collagène avec une forte proportion de glycine, proline et alanine, sa structure et ses propriétés sont très différentes. Elle se présente sous forme d'un réseau de chaînes moléculaires organisées de façon aléatoire lui conférant une structure amorphe. Les muscles contenant beaucoup d'élastine sont impliqués dans la propulsion de l'animal. Les fibres élastiques fournissent l'énergie élastique

nécessaire à l'épaule et la hanche pour l'initiation de la propulsion (Bendall, 1967). Bien que pratiquement insensible à la chaleur, la contribution de l'élastine à la dureté de la viande est mineure, en raison probablement de sa faible teneur dans la plupart des muscles.

iii) Les protéoglycanes

Les protéoglycanes sont constituées d'une protéine appelée « core protein » sur laquelle sont greffés des chaînes de glycosaminoglycanes sulfatées. Les protéoglycanes sont soit extracellulaires, soit membranaires, soit intracellulaires. Leur diversité leur permet d'interagir avec d'autres composants matriciels ou cellulaires (Nishiumi, 1999). Ils participent à l'assemblage de la matrice tout en lui conférant de nombreuses propriétés : hydratation, résistance aux forces compressives, capacité de filtration, transparence...

3) Les lipides intramusculaires

On peut différencier deux types de lipides pouvant être considérés comme des lipides intramusculaires.

Ce sont tout d'abord des **triglycérides**, lipides remplissant le rôle de stockage d'énergie. Ils se trouvent sous forme de **gouttelettes lipidiques** (5 à 20% selon le type de muscle et de fibre) ou bien dans les **adipocytes intramusculaires** (80%) (Essen-Gustavsson et al., 1994). Ces derniers sont des cellules spécialisées présentant une importante vacuole dans laquelle sont stockés les lipides. Elles synthétisent et stockent les triglycérides lorsque le bilan énergétique des animaux est positif et les mobilisent comme molécules énergétiques afin de les transporter vers d'autres tissus (comme le muscle) par le sang lorsque le bilan est négatif.

D'une façon générale, les résultats suggèrent que moins le muscle est oxydatif (donc moins apte à utiliser les acides gras comme source d'énergie), moins il stocke des lipides et moins la viande sera dite persillée (Hocquette et al., 2015). Cela confirme l'hypothèse de Gondret et al. (2006) que le « turn-over » des acides gras (ou flux des acides gras) dans le muscle, est plus important dans les muscles oxydatifs, favorisant le dépôt de triglycérides dans les adipocytes intramusculaires. Plus précisément, un flux d'acides gras plus élevé associé à une forte synthèse de nouveaux acides gras dans le tissu musculaire favorisent l'accroissement de la taille des adipocytes et donc la production d'une viande persillée (Albrecht et al., 2006).

Ce sont ensuite les **phospholipides**, constituants des membranes, dont la part au sein d'une cellule musculaire varie assez peu, mais dont le teneur va dépendre du type de fibre (davantage de phospholipides dans les fibres rouges puisqu'elles possèdent davantage de mitochondries).

La variation au sein d'un muscle de la teneur en lipides va essentiellement dépendre des triglycérides, dont la part peut beaucoup plus varier que les phospholipides (Wood et al., 2008). A noter toutefois qu'une modification du type de fibre musculaire peut augmenter ou diminuer la quantité totale de phospholipides.

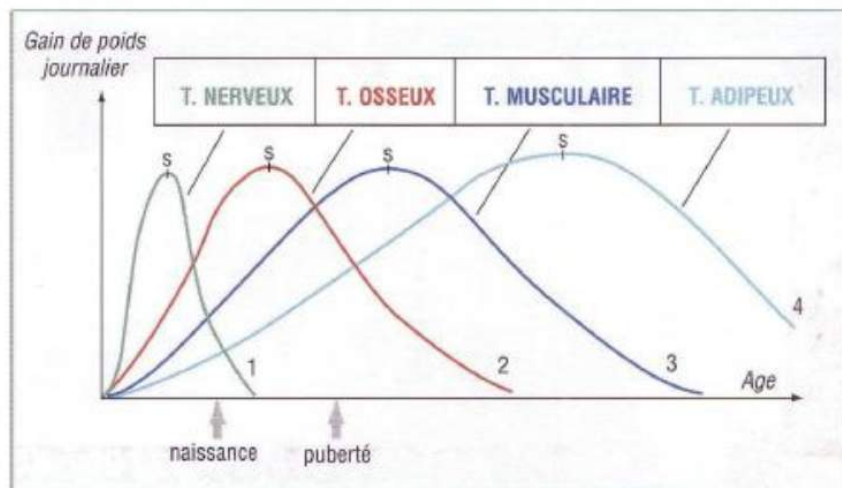
Les phases d'abattage et de maturation vont être déterminantes pour le consommateur. Les proportions entre tissus et les teneurs des différents constituants de ces tissus vont fortement accentuer ces processus. Il apparaît donc déterminant de comprendre ces deux processus.

C) Cinétique de développement des ruminants et évolution différentielle des tissus

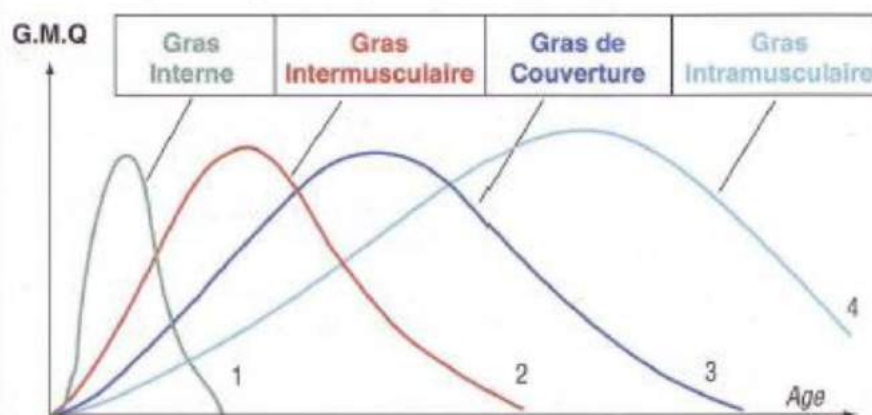
1) La précocité, un élément vital à prendre en compte pour l'engraissement

La précocité est un facteur important à prendre en compte, puisqu'elle entre en compte aussi bien dans les différences observées entre races qu'entre les sexes.

On définit précocité comme l'aptitude que possède un animal, ou plus généralement un type génétique, à réaliser rapidement l'état adulte et plus particulièrement à atteindre vite la composition corporelle de l'adulte. On peut aussi adopter une définition plus restrictive, ne prenant en compte que les tissus : la précocité est alors l'aptitude d'un animal, ou d'un type génétique, à déposer rapidement des tissus adipeux ; les individus précoces se caractérisent par une forte vitesse de croissance relative des tissus. Or, on sait que les tissus se forment toujours dans le même ordre (d'après Soltner, 1988):



Il en est de même pour le tissu adipeux, qui se forme en dernier (le gras intermusculaire correspondant au marbré, source d'énergie pour le muscle, et le gras intramusculaire au persillé, principalement recherché pour la qualité de la viande) :



Par conséquent, un animal précoce formera plus rapidement qu'un animal tardif du tissu adipeux, et donc du gras intramusculaire.

Pour l'éleveur, l'exploitation d'animaux précoces présente un intérêt économique indéniable :

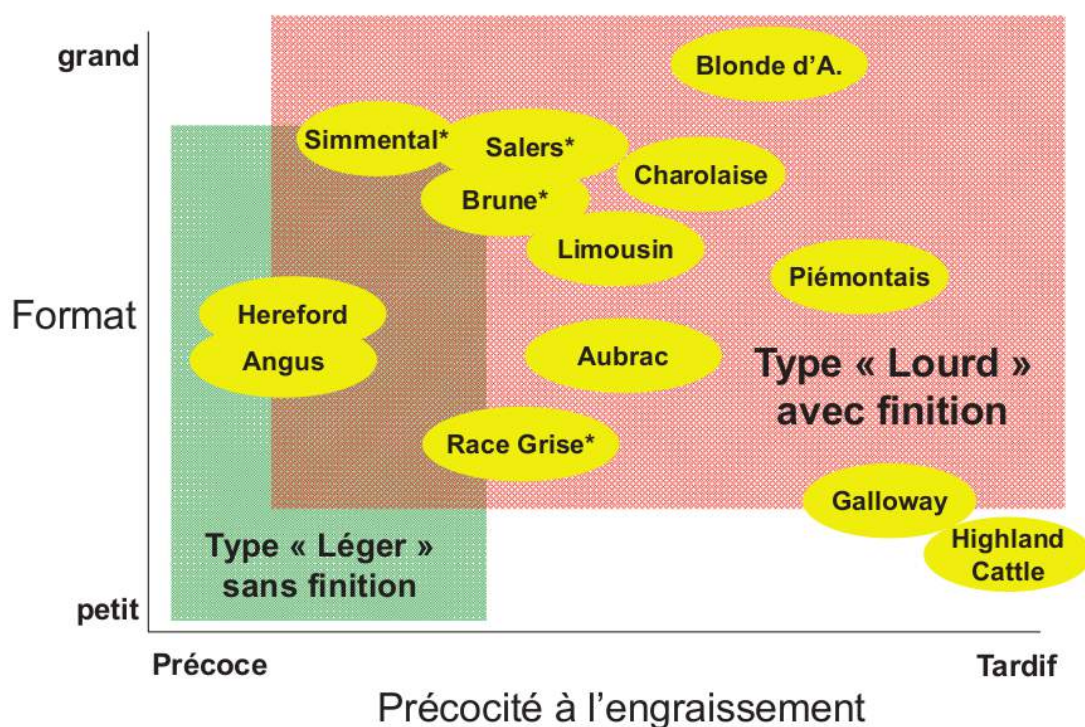
- les animaux d'élevage peuvent être mis à la reproduction plus tôt, ce qui réduit la période de vie improductive. Pour cette raison, aussi bien chez les ovins que les bovins, **les animaux spécialisés en production laitière sont plus précoces que les animaux à viande spécialisés**, les éleveurs ayant tout intérêt à avoir des animaux qui mettent bas le plus tôt possible et donc de démarrer la production laitière.
- les animaux de boucherie peuvent être abattus plus tôt, ce qui diminue le coût de production, en particulier le coût de l'alimentation. **Cependant, avec des animaux précoces, on risque de produire des carcasses trop légères pour un état d'engraissement désiré.** Or, en France, les éleveurs commercialisant leurs animaux en filière longue sont rémunérés sur l'état d'engraissement et sur la conformation. Des animaux trop précoces apparaissent donc peu adaptés à ce type de filière.

La précocité dépend de la race et du sexe de l'animal. On peut effectuer le classement du point de vue de la précocité. A noter que les différences de précocité sont plus marquées entre les races bovins qu'ovines (les croisements y étant de plus en plus fréquents), raison pour laquelle toutes les catégories ne seront pas référencées pour les ovins. Dans le cas de la production d'agneaux, la gestion du parasitisme et de la prédation prime en général sur la sélection des animaux sur une plus grande précocité (Prache, communication personnelle). Bien garder à l'esprit que dans le cas de certaines races (par exemple la vache limousine) une très forte hétérogénéité demeure, du fait de la coexistence de plusieurs souches.

Race	Précocité	Exemples bovins	Exemples ovins
Laitière	++++++	Prim Holstein	Lacaune
Viande anglo-saxonne	+++++	Angus	/
Mixte à tendance laitière	++++	Normande,	/
Mixte et rustique	+++	Salers, Aubrac	Limousine, Tarasconnaise
Croisement race à viande et race rustique	++	Charolaise x Salers	Suffolk x Tarasconnaise
Viande continentale	+	Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine	Suffolk, Texel, Île de France, Charolaise

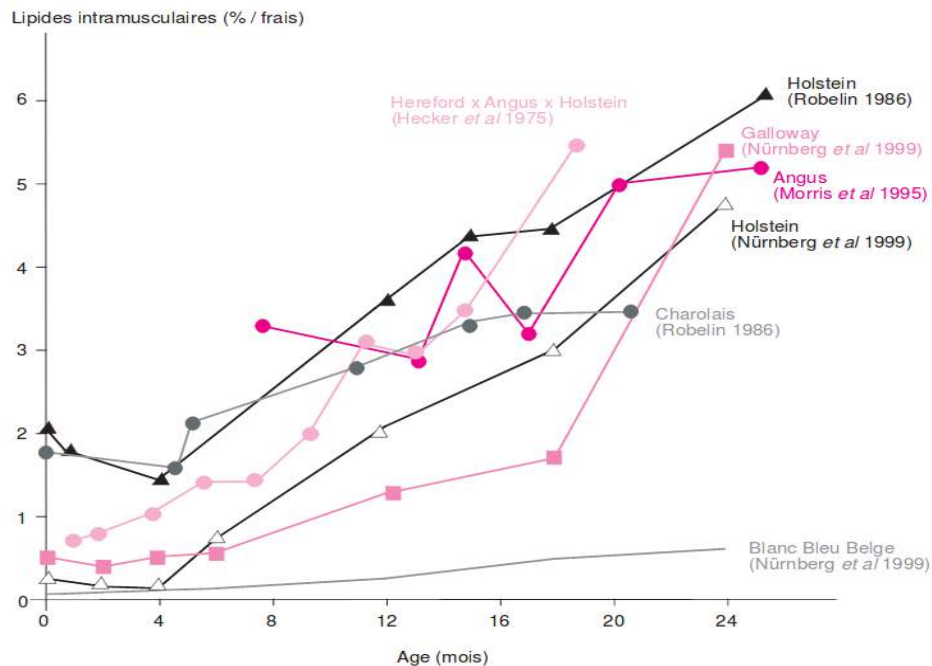
Viande continentale avec gène culard	Engraissement très difficile	Blanc Bleue Belge et Parthenaise	/
---	---------------------------------	-------------------------------------	---

Ces données restent un cadre théorique, certaines races ne rentrant pas tout à fait dans la catégorie précédemment présentée :



Source : adaptée de Vache Mère Suisse.

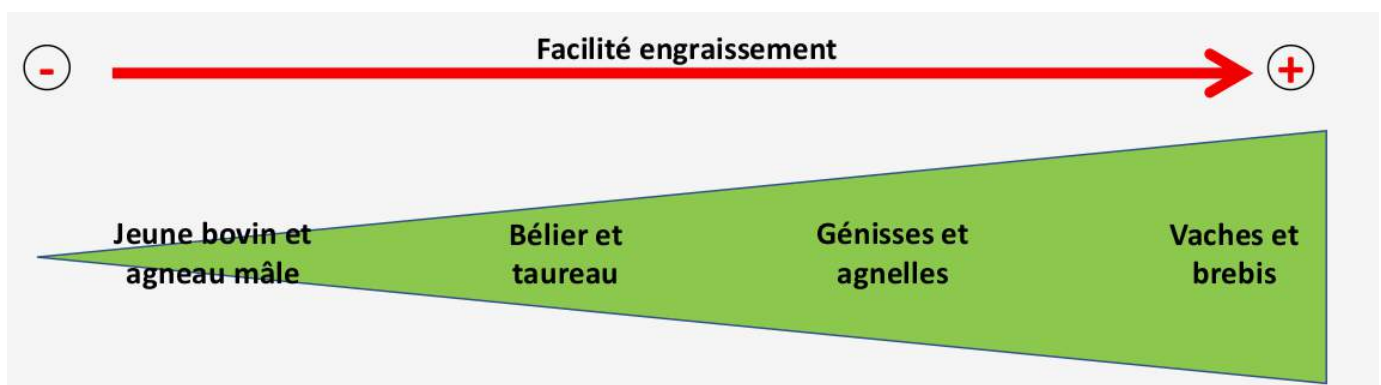
Il ne semble pas y voir de relation stricte entre la précocité et la rusticité. On trouve ainsi des races rustiques comme la Salers ou l'Aubrac qui présentent une certaine précocité, alors que d'autres comme la Galloway ou la Highland seront plutôt de type tardif. La capacité d'un animal à former précocement du gras implique qu'il formera plus rapidement également du gras intramusculaire, dernier tissu adipeux à se mettre en place et étant celui qui présente le plus d'intérêt pour la qualité de la viande. Il n'existe toutefois que très peu de données précises indiquant à partir de quel moment le gras intramusculaire commence à se former, et surtout à partir de quand son effet devient perceptible, en fonction des races ou bien du sexe. On peut toutefois utiliser le graphique suivant à titre indicatif:



Evolution de la teneur en lipides intramusculaires en fonction de l'âge et de la race pour les bovins (d'après Bas et Sauvart, 2001)

On remarque bel et bien le fait précédemment établi selon lequel les races laitières et anglo-saxonnes forment bien plus rapidement du tissu gras intramusculaire que les races à viandes continentales, comme la Charolaise ou bien la Blanc Bleu Belge. A noter que le profil de la Galloway sort comme un animal précoce, alors que le graphique précédent la rangeait plutôt dans la catégorie des animaux tardifs. Ce graphique nous indique que le dépôt de gras intramusculaire est loin de suivre l'aspect curvilinéaire précédemment indiqué, et qu'il reste sous étroit contrôle de la nutrition.

De la même manière qu'il y a un effet race marqué, il en est de même pour le sexe et l'âge de l'animal. Les femelles sont plus précoces que les mâles, les animaux castrés comme les moutons ou bien les bœufs auront un comportement intermédiaire. De même, un animal plus âgé sera engraisé plus rapidement qu'un animal jeune, du fait qu'il sera plus avancé dans son développement, et la mise en place du tissu adipeux ne se faisant que dans les derniers stades du développement. On peut donc établir le classement suivant au niveau de la facilité d'engraissement :



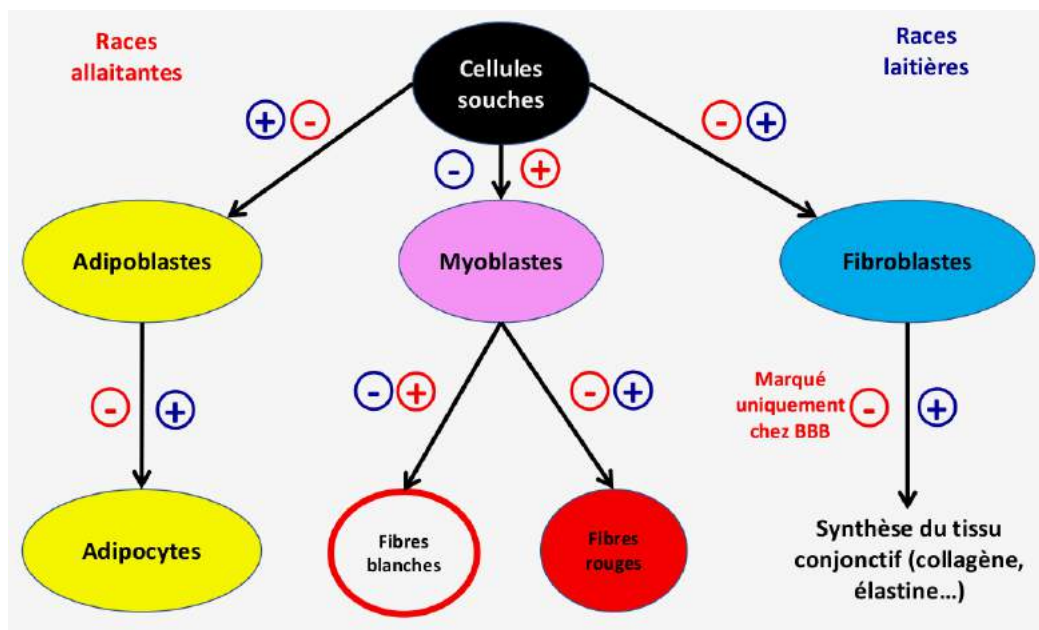
2) Effet de la sélection génétique sur la conformation bouchère

L'objectif des schémas de sélection des principales races à viandes continentales est l'amélioration de l'efficacité de la transformation d'énergie en viande. Or, pour un gain de poids donné, il faut en moyenne trois fois plus d'énergie pour déposer du gras que du muscle. Or, plus l'animal vieillit et plus il aura tendance à déposer du gras, au prix d'une énergie accrue. La sélection en faveur du développement musculaire permet ainsi de donner la priorité au développement du muscle, et cela sur une plus longue période.

Par conséquent, la sélection génétique sur la conformation bouchère et la croissance musculaire a eu des effets marqués sur le métabolisme des races à viande. En effet, les animaux à forte conformation vont présenter des viandes beaucoup plus riches en fibres blanches glycolytiques, qui sont donc favorisés par la sélection génétique. Cela va généralement de paire avec une forte diminution de l'adiposité des carcasses (et notamment des lipides intramusculaires) et de la teneur en collagène. En effet, les cellules musculaires, les cellules adipeuses intramusculaires et les fibroblastes (cellules productrices des molécules du tissu conjonctif) sont issues des mêmes cellules souches, et entrent donc en compétition au cours de la croissance des animaux (Hocquette et al., 2009). Par conséquent, une sélection génétique en faveur de la croissance musculaire va fortement diminuer le nombre d'adipocytes intramusculaires et de fibroblastes, et donc le niveau de persillé des muscles et la teneur globale en collagène. Le cas le plus emblématique est celui de la race Blanc Bleu Belge chez laquelle le gène de la myostatine est muté, avec comme conséquence un développement musculaire accru et une réduction du nombre et de la taille des adipocytes. Le résultat est donc une viande plus blanche, car plus riche en fibres blanches, moins riches en lipides intramusculaires et en collagène. Ces animaux donnent en général une viande très tendre mais sèche, peu juteuse et présentant peu de flaveur.

Si ce phénomène n'est pas aussi marqué chez les autres races à viande, qui ne présentent pas cette mutation (à l'exception d'un rameau de la Rouge des Prés), la même tendance au niveau de la qualité de la viande est observée. On notera que cette mutation apparaît ponctuellement dans d'autres races comme par exemple la Charolaise, mais qu'elle n'est alors que tolérée et la sélection se fait très rarement sur ce critère.

A noter qu'à l'inverse, la sélection des animaux laitiers a eu comme effet un faible potentiel de développement musculaire (et donc des carcasses mal conformées selon les standards des filières), une très forte précocité à former du tissu adipeux, qui permet entre autres de compenser le déficit énergétique au début de la lactation, et une teneur en collagène très largement supérieure aux races à viandes. Il en résulte des carcasses avec des défauts majeurs de tendreté, et des animaux trop facilement gras, dans des proportions dépassant largement les standards des filières viandes.



**Schématisation des effets de la sélection génétique
sur les trois tissus constitutifs du muscle
(réalisation : auteur)**

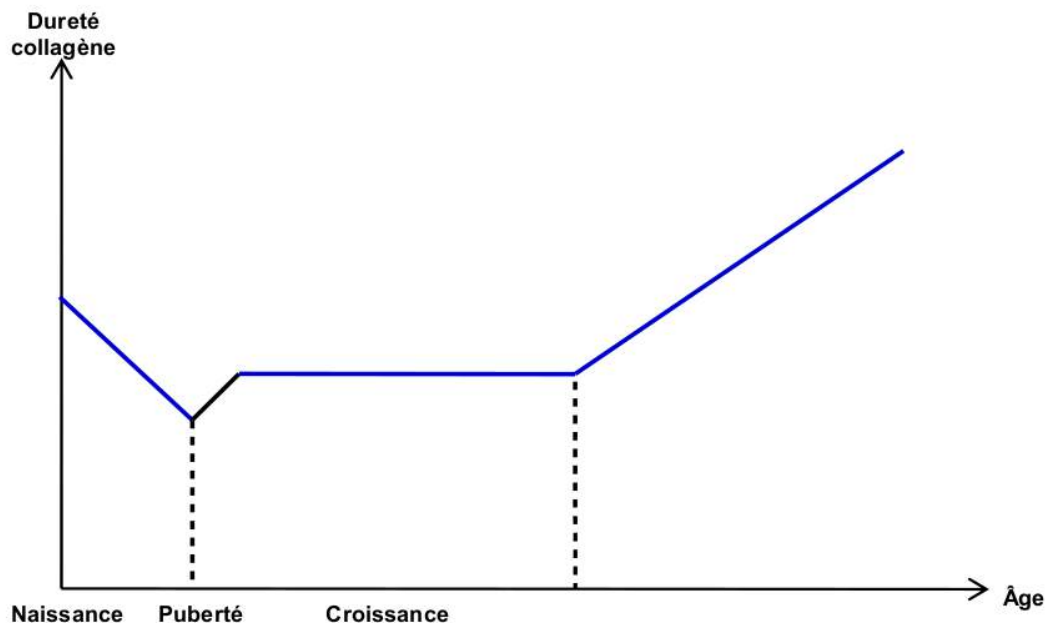
3) Evolution de la composition corporelle autour de la croissance

Au cours de la vie des animaux, la composition de la viande en fibres musculaires, tissu adipeux intramusculaire et tissu conjonctif évolue, les trois facteurs clés relatifs au type d'animal (race, sexe et âge) ayant des effets conjugués.

Que ce soit pour les ovins ou bien les bovins, la viande tend à s'enrichir en fibres rouges avec l'âge, au détriment des fibres blanches (Clinquart et al., 2000 ; Priolo et al., 2001). Ce phénomène est plus rapide chez les mâles, la conversion des fibres blanches en fibres rouges étant sous contrôle de la testostérone. Ainsi, des taurillons commenceront à avoir une viande enrichie en fibres rouges à partir d'un an, alors que pour les génisses ce phénomène n'interviendra que plus tard, à partir de 2 ans et demi (Hocquette et al., 2018). Toutefois, du fait d'un potentiel musculaire plus développé chez les mâles, donnant la priorité aux fibres blanches, les femelles présenteront une augmentation plus rapide de la teneur pigments (Micol et al., 2010).

Avec l'âge et selon le sexe, on observera une évolution défavorable de la tendreté, en lien avec la diminution progressive de la solubilité du collagène. En effet, au cours de la vie de l'animal, le collagène va progressivement augmenter son degré de réticulation, à l'origine de la diminution de cette solubilité. Or, la réticulation du collagène est notamment sous contrôle de la testostérone, qui implique que la tendreté va évoluer plus rapidement de manière défavorable chez les mâles que les femelles (Renand et al., 1997 ; Dansfield et al., 2003).

La diminution de la tendreté sera par conséquent plus rapide chez les races précoces que chez les races tardives, les animaux arrivant ainsi plus vite à la puberté et ayant un collagène plus réticulé à âge égal avec des animaux tardifs (Liboriussen et al., 1978).



Représentation schématique de l'évolution de la dureté du collagène au cours de la vie d'un ruminant (réalisation : auteur, d'après Listrat, communication personnelle)

Enfin, la teneur en lipides intramusculaires augmente avec l'âge de l'animal, et cela de manière plus marquée quand l'animal est précoce et chez les femelles.

Les phases d'abattage et de maturation vont être déterminantes pour le consommateur. Les proportions entre tissus et les teneurs des différents constituants de ces tissus vont fortement accentuer ces processus. Il apparaît donc déterminant de comprendre ces deux processus.

D) Abattage et rigidité post mortem : évolution du muscle dans les premières heures après l'abattage

1) Evolution biochimique suite à l'abattage de l'animal

Suite à la saignée de l'animal, les cellules musculaires se retrouvent privées de nutriments et d'oxygène, apportés en temps normal par le sang. Les cellules vont temporairement réussir à produire de l'énergie (de l'ATP) par voie métabolique anaérobie, celle de la phosphocréatine et surtout de la glycolyse anaérobie. Cette dernière utilise comme substrat le glucose, stocké dans les cellules sous forme de granules de glycogène (polymère de glucose) et finalement dégradé en pyruvate. Toutefois les cellules n'arriveront pas à maintenir longtemps la teneur en ATP suffisante à leur fonctionnement, dont la teneur va progressivement diminuer.

A l'issue de la glycolyse, le pyruvate est réduit en lactate, libérant par la même occasion un proton. Ainsi, à mesure que la teneur en ATP décroît et que le glycogène est dégradé, les protons et le lactate s'accumulent dans les cellules musculaires, conduisant à une baisse du pH (revue de Bendall, 1973). Le pH se stabilise à une valeur appelée pH ultime (ou pH_u) quand les stocks de glycogène sont épuisés, ou bien quand le pH inhibe les enzymes du métabolisme.

2) Conséquences structurales

Des modifications physiques sont perceptibles quelques heures après la mort de l'animal, avec notamment l'installation de la rigidité cadavérique, ou rigidité post mortem : la musculature devient progressivement rigide et inextensible. Lorsque l'animal est vivant, l'énergie disponible sous forme d'ATP permet le coulisage des filaments fins (actine) par rapport aux filaments épais (myosine), et notamment leur retour à la normale suite à la contraction du muscle. Lorsque la concentration en ATP passe en dessous de la moitié de sa valeur du muscle au repos, les **filaments d'actine et de myosine se lient pour former le complexe actomyosine**. Le glissement des filaments devient impossible et le muscle se rigidifie progressivement et devient inextensible. Par la suite, la rigidité musculaire s'estompe progressivement, mais pas l'inextensibilité. Ce processus est lié découle de la dégradation subie par les protéines de la structure myofibrillaire au cours de la phase de maturation.

D'un point de vue ultrastructurale cela se traduit par un resserrement des myofibrilles avec une forte compression latérale, à l'origine d'un transfert d'eau vers le milieu extracellulaire.

3) Cinétique du métabolisme post mortem en fonction du type de fibre

Le type de fibre musculaire, et notamment son type métabolique sont d'une importance vitale dans la transformation progressive du muscle en viande et de la qualité de cette dernière. Les différences observées entre des animaux d'espèces, de races, d'âges et de sexes différents sont avant tout liées à la composition en fibres du muscle.

Les deux facteurs clés à prendre en compte sont la teneur en glycogène pré abattage et la vitesse des réactions biochimiques. Or, les fibres blanches glycolytiques contiennent bien plus de glycogène que les fibres rouges oxydatives, et la vitesse des réactions chimiques y sont bien plus rapides. Par conséquent, **la chute de pH est bien plus rapides dans les fibres blanches que dans les fibres rouges et le pH_u y est également plus bas, du fait d'une teneur en glycogène initialement plus importante.**

Ces différences métaboliques se traduisent par des différences marquées entre espèces, races et sexes. Par exemple, à âge égal, des races précoces auront davantage de fibres rouges que les races tardives.

4) Défauts de viandes en lien avec des pH anormaux

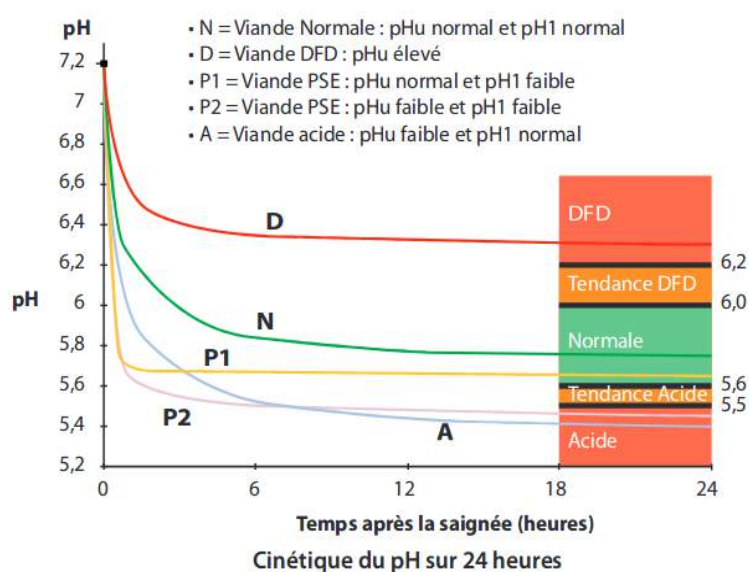
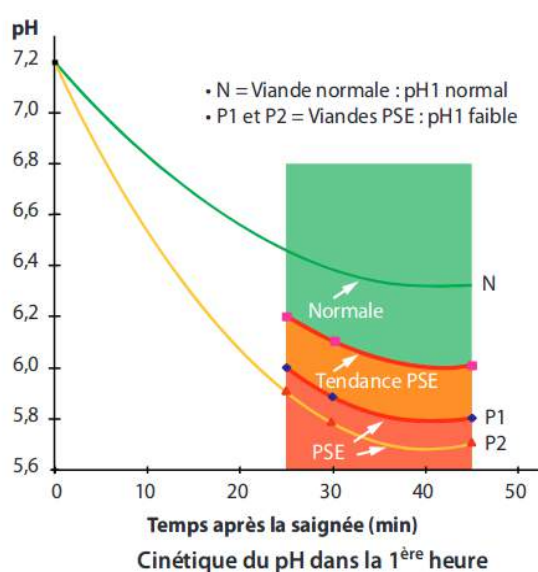
Les défauts interviennent le plus souvent dans des conditions de transport et/ou d'abattage ayant entraîné un stress important sur les animaux, en sachant que les animaux ne réagissent pas de la même manière selon leur sexe et la façon dont ils ont été élevés

En cas de stress pré abattage, les réserves de glycogène sont partiellement entamées, avec comme conséquence une chute de pH moins marquée qu'en temps normal. Le pH ultime se stabilisera à une valeur supérieure à la normale (environ 6,2 contre 5,5 à 5,3 en conditions normales) avec comme conséquence une viande plus sombre, avec une plus forte rétention de l'eau et un aspect ferme au toucher. Il s'agit du **défait DFD (« Dark-Firm-Dry »)**. Ce type de viande pose des problèmes en terme de risque bactériologique, puisque la forte teneur en

eau de la viande permet un développement accru de microorganismes, qui bénéficient également d'un pH moins acide que la normale, et donc d'un milieu globalement plus favorable.

Ce type de défaut, plus fréquent en viandes rouges qu'en viandes blanches, peut être entre autres maîtrisé par une **limitation du stress des animaux avant l'abattage**, que ce soit en limitant le temps de transport ou bien en abattant les animaux dans des conditions optimales. Les pratiques d'élevages influent également sur la sensibilité au stress des animaux : certaines races apparaissent plus sensibles au stress, comme par exemple la race Blanc Bleu Belge en comparaison de la race Angus. De manière générale, les races laitières apparaissent moins sensibles au stress que les races à viande, du fait notamment d'une manipulation bien plus fréquente des animaux. Pour une race donnée, des conditions d'élevages différenciées impliquent également une réaction différente au stress : ainsi, des animaux élevés en plein air intégral avec peu de contacts avec l'éleveur seront plus sensibles au stress que des animaux alimentés régulièrement en stabulation. Enfin, les mâles apparaissent en moyenne plus sensibles au stress que les femelles, avec une plus grande fréquence du phénomène DFD.

Le second défaut intervient dans certaines circonstances spécifiques, comme un stress au cours de la saignée, et apparaît également favorisé par certains types génétiques. Il intervient lorsque l'élévation du métabolisme musculaire se maintient longtemps après la mort de l'animal, de manière concomitante à l'abaissement progressif du pH, alors que la diminution de la température n'est pas assez rapide. La combinaison pH bas et température haute entraîne la dégradation d'une partie des protéines musculaires, à l'origine d'une baisse du potentiel de rétention en eau des viandes. Elles sont caractérisées par l'exsudation d'eau lors de la conservation réfrigérées, et par des pertes d'eau supérieures à la normale au cours de la cuisson. Ces viandes sont dites **PSE (« Pale-Soft-Exsudative »)** se caractérisent par une couleur plus pâle et par une texture plus molle. Si ce phénomène pose problème dans filières porcs et volailles, il reste peu fréquent chez les ruminants, et davantage observé chez les ovins que les bovins.



Exemples de courbe d'évolution du pH (source graphique : IFIB)

5) Cinétique de refroidissement et qualité de la viande

La température et la vitesse de réfrigération des carcasses affectent fortement la cinétique des réactions chimiques du métabolisme post mortem. Le refroidissement des carcasses inhibe les réactions enzymatiques et ralentit les réactions biochimiques. Le mode et la vitesse de refroidissement des carcasses sont des critères importants pour limiter les variations au niveau des qualités des viandes.

- **Une réfrigération trop lente peut conduire à une contraction des sarcomères avec pour conséquence une diminution de la tendreté des viandes** (revue de Kim et al., 2014). Il semblerait que la diminution de la tendreté de la viande ayant subi une contraction au chaud soit consécutive à une dénaturation partielle des protéines qui limiterait la protéolyse post mortem (Kim et al., 2012 ; Kim et al., 2010). Ce phénomène est de moins en moins fréquent aujourd'hui du fait du respect de la chaîne du froid.

- **Une viande refroidie trop rapidement se contracte également et devient dure.** Ce phénomène, la contraction au froid, ne se produit que dans la viande rouge (essentiellement bovin et ovin) majoritairement composée de fibres à métabolisme oxydatif (Locker et Hagyard, 1963). Dans ces fibres, la pompe calcium ATPase située dans la membrane du réticulum endoplasmique est inhibée par les basses températures ce qui provoque la fuite de calcium dans le sarcoplasme. En présence d'ATP et de Ca^{2+} dans le sarcoplasme, les cellules musculaires se contractent et la résistance de la viande augmente. Dans certains pays, la carcasse est stimulée électriquement pour éviter ce problème, ce qui a pour effet de consommer la majeure partie de l'ATP. Quand plus de la moitié de la teneur en ATP initial a été consommé, les carcasses peuvent être refroidies rapidement sans risque de contracture au froid.

E) La maturation

1) Définition

La phase de maturation consiste à stocker les carcasses ou les pièces de viandes en chambre froide pendant plusieurs jours afin d'améliorer la tendreté. On considère généralement que c'est une phase d'évolution post mortem faisant suite à l'installation de la rigor mortis, bien que la plupart des processus enzymatiques impliqués débutent dès l'abattage. Elle se caractérise par une évolution des propriétés contractiles qui conduit à un attendrissement progressif des viandes. Le mécanisme de maturation est enzymatique et indépendant de la présence de microorganismes. La durée de maturation des carcasses stockées en chambre excède rarement 2 à 3 semaines même si certains vont jusqu'à 6 semaines avec le développement de la maturation longue, encore autodidactique. Ces longues conservations doivent être parfaitement maîtrisées pour éviter le développement de la flore bactérienne d'altération pouvant nuire aux qualités des viandes.

L'absence d'oxygène n'entrave pas les processus protéolytiques et l'allongement de la durée de la maturation favorise l'attendrissement des viandes.

2) Systèmes enzymatiques

Les systèmes enzymatiques identifiés sont : les protéinases neutre calcium dépendantes ou **calpaïnes**, actives à pH neutre, les protéinases lysosomiales aussi appelées **cathepsines**, actives entre pH 4 et pH 6 et le **complexe multicatalytique ubiquitine-protéasome** dépendant présent dans le cytoplasme et dans le noyau des cellules (revue de Ouali, 1992). Un autre groupe de protéinases a été identifié comme potentiellement impliqué dans la maturation des viandes : le groupe des **caspases** (revue de Ouali et al., 2005).

La maturation de la viande est sous la double dépendance des protéinases et de leurs inhibiteurs, par exemple le cas du couple calpaïnes/calpastatine. D'une façon générale, il est probable que la protéolyse post mortem ne soit pas le fait d'une seule protéase, mais d'une interaction entre ces différents systèmes protéolytiques (revue de Sentandreu et al., 2002).

3) Evolution physico-chimique

En plus de la diminution du pH, la pression osmotique évolue après l'abattage. Sa valeur double au cours de la phase d'installation de la rigor mortis (revue de Ouali, 1992). Cette augmentation serait directement liée à la chute du pH (revue de Ouali, 1992). L'augmentation de la force ionique qui en découle est suffisante pour dissocier au moins partiellement le complexe actomyosine et favoriser l'action des protéases musculaires.

4) Evolution structurale

L'action des protéases entraîne de forts changements au niveau de l'organisation cellulaire et ultra-structurale. Le tissu conjonctif semble peu affecté par la maturation, qui va surtout concerner la structure de myofibrille.

Globalement, la protéolyse post mortem conduit à une rupture transversale des myofibrilles sur la jonction relie la bande I et la strie Z. En effet, diverses protéines du cytosquelette sont dégradées dans les deux à quatre premiers jours de réfrigération des viandes, ce qui provoque un désalignement des myofibrilles les unes par rapport aux autres, un détachement du sarcolemme et la rupture des myofibrilles le long des stries Z (revue de Koohmaraie et Geesink, 2006).

Il a longtemps été considéré que l'évolution post mortem du tissu conjonctif était négligeable en comparaison de l'évolution myofibrillaire et qu'il restait sans effet sur l'évolution de la texture des viandes. En réalité, l'altération du tissu conjonctif au cours de la maturation a été mise en évidence il y a plusieurs années, aussi bien dans le périmysium que dans l'endomysium. Néanmoins les modifications ne devenaient sensibles qu'après 10 jours de maturation (Nishimura et al., 1995). D'une façon générale, la maturation augmente la solubilité du collagène (Purslow, 2005), causant une amélioration de la viande crue.

Après avoir étudié les différentes composantes de la viande, on va maintenant s'attacher à décrire la façon dont des éleveurs parviennent à finir intégralement des animaux au pâturage, et les effets de cette pratique sur le type d'animaux produit.

II) Comment finir des ruminants au pâturage ?

Afin de confronter les résultats de la bibliographie avec les pratiques des éleveurs, afin d'estimer la qualité de la viande issue de la finition au pâturage, il convient dans un premier temps de revenir sur les bases théoriques de la pratique qu'ils mettent en œuvre, le pâturage tournant, qui passent par une connaissance poussée de l'écologie de la prairie.

A) Le pâturage tournant pratique centrale de ces systèmes

1) Les deux cycles de végétation des graminées prairiales (d'après Solner, 1988)

Contrairement aux céréales et aux autres graminées annuelles, les Graminées pluriannuelles des prairies présentent deux cycles de végétation. Au cours de leur vie, la valeur nutritive des Graminées prairiales va énormément évoluer, d'où l'objectif de mieux comprendre leur physiologie.

- le premier cycle va de la germination de la semence à la formation et la maturation des graines. La vie des Graminées annuelles s'arrête ici. Quant aux Graminées prairiales, leur premier cycle est le plus souvent écourté par la fauche avant la formation des graines, au début de la floraison. Pour la production des graines, le premier cycle est complet.

- le deuxième cycle commence au moment de la reprise de la végétation, généralement en fin d'été-automne et se termine en hiver. Ce deuxième cycle est le plus souvent exclusivement herbacé, puisque la plupart des Graminées n'épient qu'une fois par an. Au printemps suivant, on se retrouve dans des conditions identiques à celles d'un nouveau premier cycle de végétation, mais qui commence directement par le tallage et non par la germination de la graine.

Le premier cycle est caractérisé en début de printemps par une importante période végétative, au cours de laquelle la plante va taller. Ce processus est la base de la production fourragère. Pendant cette période, les tiges restent court nouées, les entre nœuds restant entassés près du plateau de tallage, attendant la montaison. Le tallage est donc essentiellement une production de feuilles et de bourgeons foliaire, associée à l'émission de racines. Un tallage abondant et persistant est donc à rechercher pour obtenir une production fourragère abondante. Il se prolonge jusqu'en début de phase reproductrice ou stade « ébauche d'épi ». La montaison va être à l'origine d'une inhibition du tallage, seul le talles principal montant en inhibant par la même occasion les talles secondaires, les bourgeons foliaires entrant alors en dormance.

Si l'éleveur souhaite produire sur la parcelle du foin, il laisserait la plante monter et épier, la fauche intervenant à ce stade. La valeur nutritive diminue à partir de la montaison (tant en énergie qu'en protéine digestible) alors que la quantité de matière sèche augmente fortement, ce qui est favorable le rendement fourrager.

Si l'éleveur souhaite faire pâturer la parcelle, il doit chercher à prolonger le tallage et éviter l'inhibition au tallage en supprimant les ébauches d'épis. Si l'on intervient trop tard, le tallage herbacé sera forcément réduit par l'effet de la concurrence des épis : la repousse sera plus lente et plus tardive car il y aura eu arrêt du tallage. Si l'on intervient trop tôt, de nombreux

épis échappent à la coupe. De plus, l'herbe pâturée trop jeune est moins nutritive, la quantité de MS récoltée est trop faible, et surtout l'accumulation, à la base des tiges, de réserves nécessaires à la repousse sera limitée : la repousse sera donc là encore ralentie.

Le second cycle s'enclenche suite à la fauche ou bien à une phase de pâturage. Il se caractérise par le fait que la formation d'organes nouveaux s'effectue à partir de réserves accumulées dans les parties de la plante restées vivantes, et non à partir des réserves d'une graine. Le deuxième cycle fait apparaître des problèmes différents selon le mode d'exploitation de la prairie :

- quand la repousse suit une coupe de foin ou une exploitation pour la graine, autrement dit quand elle suit un premier cycle complet, on parle de deuxième cycle naturel
- quand la repousse suit une coupe précoce, avant épiaison, ce qui est le cas dans l'exploitation intensive par pâturage ou ensilage, on peut obtenir un grand nombre de repousses : 3 à 8 coupes. On parle alors de second cycle artificiel.

Si l'on cherche à maximiser la part d'herbe dans la ration des animaux, on cherchera à maintenir la phase de tallage aussi longtemps que possible. Cela se fait grâce à une gestion de l'épiaison au printemps et par un temps de repos d'une parcelle donnée suffisante pour que la plante puisse reconstituer ses réserves et réaliser une croissance suffisante.

2) La complémentarité des graminées et du trèfle blanc (d'après Garambois, 2011)

Le trèfle blanc est une plante de lumière, espèce de jour long et qui présente une grande souplesse d'exploitation en supportant des rythmes de défoliation très variables (Leconte, 1985). Cette espèce se caractérise par un système racinaire pivotant qui peut explorer jusqu'à 30 cm de profondeur (Damay, 1981) et qui présente la particularité de développer des tiges rampantes ou stolons, qui jouent un rôle central puisqu'il permet au trèfle d'être résistant même suite à une défoliation sévère (Treillet, 1981).

Outres les stolons, le système racinaire du trèfle blanc comprend des racines adventives principalement situées dans l'horizon supérieur du sol (Nösberger, 1983) au niveau desquelles des nodosités abritent une symbiose entre la Légumineuse hôte et des bactéries fixatrices du diazote de l'air appartenant au genre *Rhizobium*, dont les espèces les plus courantes sont habituellement présentes dans les sols. Cette symbiose repose sur des échanges de substances carbonées synthétisées par la plante et fournies à la bactérie, et de composés azotés fixés par la bactérie, apportés à la plante-hôte mais aussi exsudés dans le sol (Vilain, 1997). 95 % des nodosités sont situées dans les dix premiers centimètres du sol (Damay, 1981).

On observe une étroite dépendance de l'activité fixatrice d'azote vis-à-vis de la photosynthèse, mais les réserves glucidiques des stolons sont susceptibles de constituer un système tampon dans la fourniture d'énergie aux nodules qui présenteraient alors une autonomie relative par rapport à l'activité photosynthétique (fixation nocturne d'azote par exemple) (Treillet, 1981). Cette capacité fixatrice d'azote s'élève à environ 1 kg d'azote par hectare et par jour, soit pour une période de végétation et de fixation active estimée à environ 200 jours par an, 200 kg d'azote fixé par hectare et par an (Treillet, 1981 ; Guckert et al., 1983; Vilain, 1997), cette capacité fixatrice étant perturbée par l'apport d'azote de synthèse (Pochon, 2002).

Assez sensible à la sécheresse, il peut disparaître en cas de sécheresse estivale marquée, mais réapparaît si cette période est suivie d'un automne plus humide (Chazal et al., 1955).

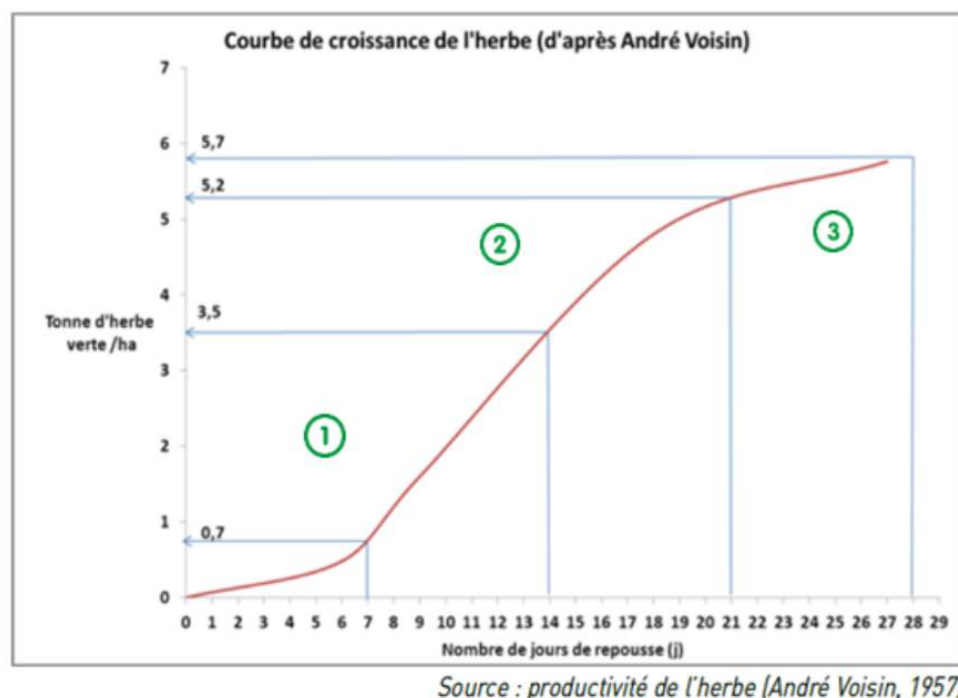
Grâce à leurs réserves, les graminées et le trèfle blanc constituent des couverts persistants qui peuvent être exploités sur plusieurs cycles de défoliation-repousse au cours d'une même année. Les systèmes racinaires des légumineuses et des graminées se complètent car ils explorent le plus souvent des horizons différents du sol (Soltner, 2016). L'azote fixé par les nodosités du trèfle blanc vont profiter aux graminées, étant de facto le « moteur de l'azote des prairies » (Voisin, 1957).

Le trèfle sert également de relais aux graminées dans la production fourragère estivale. Les Légumineuses exigent en effet pour mettre en place leurs organes floraux des périodes de jour plus longues que les graminées et acceptent en général mieux les fortes températures (Davies, 2001). Les rendements en matière sèche les plus élevés des parties aériennes du trèfle blanc sont ainsi atteints au mois d'août où la teneur en azote est toujours élevée et en moyenne supérieure à celle des autres Légumineuses, à une période où celle des graminées est faible (Damay, 1981). Ce décalage permet au trèfle d'améliorer la digestibilité globale de la prairie en été, période à laquelle les graminées sont peu appétantes pour les animaux d'élevage.

C'est sur la base de ces caractéristiques des plantes prairiales qu'ont été établis les règles du pâturage tournant rationnel, et cela dès les années 50.

3) Courbe de croissance de l'herbe et conséquences pour un pâturage efficace et durable

André Voisin a identifié dans son ouvrage de référence de 1957, La productivité de l'herbe, trois phases clés au cours de la repousse de l'herbe :



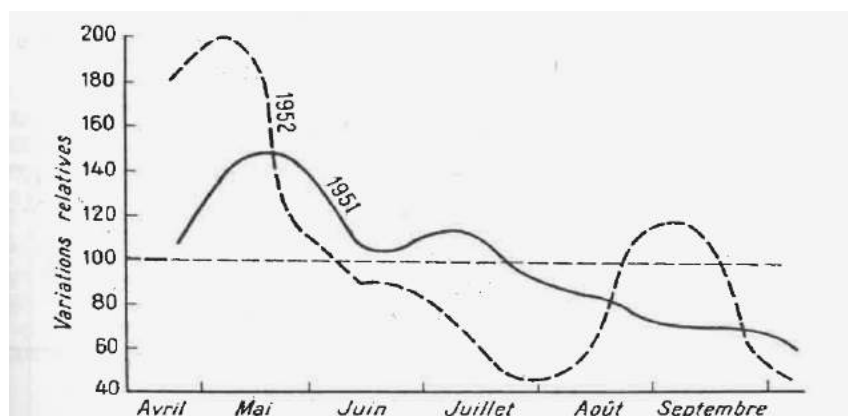
Phase 1 : l'herbe mobilise ses réserves situées dans le bas de la tige pour faire la première feuille. Ne disposant plus d'appareil végétatif aérien (brouté par le bétail ou bien fauché), elle dépend donc exclusivement de ces réserves pour sa croissance

Phase 2 : A partir de l'énergie captée par les premières feuilles, les autres feuilles se développent. Leur nombre augmentant rapidement, on est dans la phase de flambée de croissance. Les réserves sont progressivement reconstituées à la base des tiges.

Phase 3 : La pousse ralentit et on observe une stagnation progressive de la production de biomasse herbacée. L'herbe aura tendance à durcir et à s'enrichir en cellulose, diminuant la digestibilité de l'herbe

La fin de la phase 2 est la période privilégiée pour faire pâturer le troupeau : maximum de rendement tout en conservant une bonne qualité. Si l'on revient sur une parcelle pâturée avant, le rendement optimal n'est pas atteint et on risque à terme d'affaiblir la prairie puisqu'elle n'a pas le temps de reconstituer ses réserves. A l'inverse, si l'on revient trop tard, les animaux auront à leur disposition une herbe plus âgée et moins digestible, plus susceptible d'être refusée. Il est moins grave de revenir trop tard plutôt que trop tôt.

Sur le graphique précédent, on observe que le temps de retour optimal sur une parcelle est d'environ 21 jours. Cette valeur correspond à des conditions de pousse au printemps en zone océanique. La pousse de l'herbe est fortement affectée par le climat et va donc se faire à des rythmes différents au cours de l'année, nécessitant une adaptation du temps de retour sur une parcelle.



Variations relatives de la croissance quotidienne de l'herbe au cours de deux années consécutives (moyenne de trois pâturages) d'après Klapp cité par André Voisin

4) Temps de retour, temps d'occupation

Afin de gérer de manière optimale le pâturage, il s'agit de respecter un temps de repos suffisant afin de permettre à l'herbe de reconstituer ses réserves. Ce temps de repos va dépendre d'au moins trois facteurs :

- La hauteur de l'herbe résiduelle en sortie de parcelle. Un pâturage trop ras (inférieur à 5 cm) va entamer les réserves stockées à la base des tiges, et donc ralentir la croissance de l'herbe. Il faut donc éviter de pâturer trop ras, mais suffisamment pour éviter un gaspillage de l'herbe et un durcissement de la base des tiges

- Des espèces de graminées dont la durée de vie des feuilles sera variable : celles du ray-grass anglais sont par exemple de 500°Cj contre 900°Cj pour la fétuque rouge. Par conséquent, la fin de la phase 2 est atteinte plus rapidement pour du RGA que pour de la fétuque rouge. Par conséquent le temps de retour sera plus court sur des prairies à dominante de RGA par rapport à des prairies à base de fétuque rouge.
- De la température et des précipitations avec un temps de retour court au printemps (une vingtaine de jours), un temps long en été (plus du double par rapport au printemps) et intermédiaire en automne.

Ce temps de retour est à adapter en permanence, en fonction de la pousse de l'herbe. On peut se donner de repères pour identifier la période à laquelle on peut entrer sur une parcelle et celle à laquelle on doit faire sortir le troupeau. André Voisin donne comme repère une hauteur d'entrée de 15 cm sur les prairies permanentes et 22 pour les prairies temporaires, et une hauteur de sortie de 3 à 5 cm.

De manière générale, le temps d'occupation ne doit pas dépasser 6 jours, date à laquelle les premières herbes à avoir été pâturées commencent à repousser, et qu'il faut absolument préserver de la dent des troupeaux.

5) Conséquences du pâturage tournant par rapport au pâturage continu

Le pâturage continu consiste à laisser les troupeaux sur des parcelles de prairies de grande taille, pendant des périodes largement supérieures à ce qui est recommandé pour une gestion optimale du pâturage.

Les parcelles étant de grande taille, la vitesse de pousse de l'herbe au printemps excède très largement la vitesse à laquelle les animaux peuvent pâturer. Par conséquent, on va observer des phénomènes conjoints de surpâturage sur les zones consommées en premières, où les animaux auront tendance à revenir pour pâturer les jeunes pousses, les affaiblissant progressivement, alors que d'autres zones seront sous pâturées, avec comme effet un vieillissement de l'herbe et donc une augmentation de la cellulose et donc des refus. Les animaux gaspillent ainsi de nombreuses ressources en piétinant l'herbe et en refusant une partie, tout en affaiblissant les zones les plus appétantes.

L'objectif du pâturage tournant est de toujours faire pâturer l'herbe au stade optimal, c'est-à-dire le stade repousse feuillue, stade auquel le volume d'herbe disponible et la valeur nutritive de l'herbe sont optimales. L'observation de temps de repos suffisant, couplés à des temps d'occupation courts avec un fort chargement, permettent d'assurer un pâturage de l'herbe homogène sans entamer ses réserves situées dans la base des feuilles, avec un temps suffisant entre deux passages pour laisser l'herbe reconstituer ses réserves et réaliser sa flambée de croissance.

Le résultat est donc la fourniture d'une alimentation riche et équilibrée en quantité suffisante pour des animaux à fort besoins, et cela de manière durable sur le long terme.

B) Gestion du pâturage tournant en systèmes bovins et ovins allaitants réalisant de la finition au pâturage

Les données techniques fournies ici sont issues des entretiens techniques réalisées auprès des éleveurs du CIVAM. L'objectif est ici de présenter la façon dont les animaux sont conduits, et de la diversité des animaux finis au pâturage.

Les éleveurs enquêtés se répartissent de manière schématique sur deux zones aux caractéristiques pédoclimatiques marquées pouvant être à l'origine de différences au niveau des performances zootechniques. On peut différencier :

- La zone du piémont au sein de laquelle vont se concentrer les éleveurs bovins qui utilisent le plus souvent des vaches de race Limousine. Les éleveurs ovins de cette zone, moins nombreux, utilisent des races à viande des plaines comme la Charolaise, la Texel et la Charmoise. Les terres y ont un bon potentiel avec par exemple des prairies d'un potentiel de 4-5 TMS/ha en 1ère coupe sur du foin. L'essentiel des surfaces auxquelles les éleveurs ont accès sont des prairies.
- La zone du plateau où l'on va surtout trouver les éleveurs ovins, en général de race Limousine et où les sols sont de moindre qualité puisque pour un même type de conduite les prairies y ont un potentiel de 2,5-3,5 TMS/ha en 1ère coupe sur du foin. Si les prairies représentent la plus forte proportion des terrains utilisés par les éleveurs, nombreux sont ceux qui utilisent des zones de végétation semi-naturelles comme les landes, les sous bois et les tourbières. Il est fréquent que les éleveurs conduisent leur troupeau en au moins deux lots avec deux périodes d'agnelage différentes (une en automne et une au printemps) et que donc tous les agneaux ne soient pas finis à l'herbe, pour des raisons qui seront abordées par la suite.

Quelle que soit la zone où ils sont implantés, tous les éleveurs enquêtés réalisant de la finition au pâturage ont la même conduite au pâturage.

1) Surface de base et îlots de parcelles

Les éleveurs adaptent la taille de leurs lots aux parcelles dont ils disposent, en sachant que le chargement instantané doit être adapté en fonction des disponibilités en ressources fourragères. La surface pâturée comprend donc :

- Une surface qui est uniquement pâturée, ou surface de base, suffisante en période de pleine pousse
- Une surface pâturée et fauchée : elle est pâturée quand la surface de base n'est pas suffisante (début de printemps, été, automne) et débrayée en période de pleine pousse, c'est-à-dire mise en défend pour la production de foin.

On considère qu'il faut une surface de base d'environ 30 à 35 ares par UGB, en sachant que ces valeurs sont à majorer ou minorer selon la qualité intrinsèque des prairies, se qui se fait selon la connaissance qu'à chaque éleveur de ses parcelles.

Cette surface de base doit ensuite être divisée en un nombre donné de paddocks, permettant de respecter un temps de repos suffisant pour la croissance de l'herbe. La taille de la parcelle doit être suffisamment faible pour que le temps de séjour ne dépasse pas 5 jours, et dépend donc du nombre d'animaux du lot. En général, on compte 7 à 10 paddocks par lot, en sachant

que moins il y a de paddocks et plus le temps de séjour par paddock sera long. Celui varie de 2 à 5 jours, permettant ainsi d'éviter un pâturage trop ras.

De manière schématique, les parcelles des exploitations sont regroupées en différents îlots, et les lots constitués de manière à adapter le chargement à la surface disponible. Chaque îlot comprend idéalement la surface de base exclusivement pâturée et des parcelles de fauche mises en défend au printemps.

Les lots sont le plus souvent conduit de la même manière, en termes de temps d'occupation, temps de repos et nombre de paddocks. Dans le cas des bovins, voici les différents cas de figures rencontrés :

- Lots de mères suitées (avec un taureau selon la saison)
- Lots de génisses de 1 an
- Lots de génisses de 2 ans en gestation
- Lots d'engraissement
- Lots mixtes (en général lots de mères suités et de quelques animaux à l'engraissement)

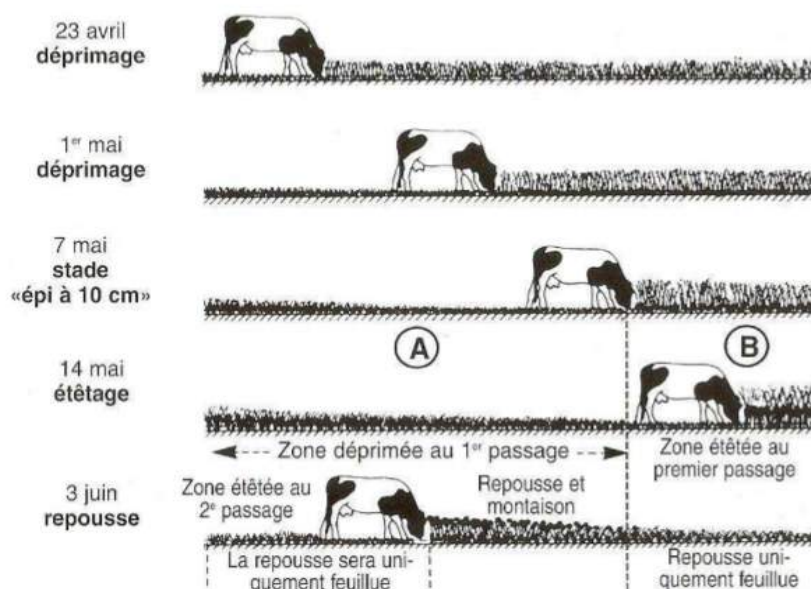
Le nombre de lots est donc fonction du découpage des parcelles et des îlots qui en découlent. On va maintenant s'attacher à décrire la façon dont sont gérés les lots au cours de l'année.

2) Déprimage et étêtage

Les lots commencent à tourner sur les parcelles (surface de base et parcelles de fauche) afin de réaliser ce que l'on appelle le déprimage, qui intervient entre 300 et 500°Cj (en général de mars à avril). Si besoin, les animaux sont affouragés en complément. Le déprimage intervient au cours de cette période puisque les températures sont insuffisantes pour induire un début de montaison et épiaison. Par conséquent il n'y a pas de risques de supprimer les apex, ce qui pénaliserait la production de foin ultérieure.

Cette période, dont le début est variable selon les conditions climatiques de l'année et selon la position de l'exploitation, a comme objectif d'induire un décalage dans la pousse de l'herbe, que ce soit sur les prés de fauche, permettant ainsi d'échelonner la fauche, ou bien sur la surface de base permettant ainsi de ne pas être dépassé par l'herbe au cours du printemps, en échelonnant de la même manière la pousse. Le déprimage permet également de bien nettoyer les parcelles (consommation de la vieille herbe d'hiver) et de donner accès à la lumière à des espèces comme le trèfle blanc, une légumineuse d'intérêt pour la nutrition des plantes.

Si les conditions sont très poussantes (période de 300 à 500°Cj courte), les prés de fauche doivent être pâturés en priorité, afin d'éviter tout étêtage pénalisant pour la production de foin en termes de quantité mais pas en qualité (les repousses feuillues étant plus nutritives).



Zone A déprimée au premier passage et qui épiera à la repousse
Zone B étêtée au premier passage et qui repoussera uniquement feuillue

Source graphique : Soltner, 2016



Déprimage des prés de fauche au GAEC de la Geneste (mois de mars)

3) Pâturage de printemps et gestion de l'épiaison

A partir de 500°Cj (certaines plantes poussant à l'état sauvage permettent de donner de précieux repères) commence la période de pâturage tournant de printemps à proprement parler. Les surfaces de fauche déprimées au préalable sont débrayées, c'est-à-dire mises en

défend pour la production de foin, et les animaux tournent uniquement sur la surface base. La majeure partie des prairies exploitées étant permanentes, elles se caractérisent par une abondante diversité de plantes à la phénologie différente. Afin de permettre une repousse feuillue abondante et riche, il est primordial de gérer l'épiaison, en sectionnant les apex des plantes et en revenant suffisamment rapidement pour que les plantes dont on n'a pas sectionné les apex au premier passage n'aient pas trop monté au cours du deuxième. Pour une gestion de l'épiaison optimale il est nécessaire de ne pas dépasser 200°Cj entre deux passages successifs au printemps, soit une période allant de 15 à 20 jours, et ceci jusqu'au moment où la repousse n'est plus suffisante pour assurer un tel temps de retour (deuxième moitié de juin).

La période de pâturage de printemps est la période centrale pour la finition d'animaux à l'herbe, puisque c'est à cette période que la ressource fourragère est la plus abondante.

4) Pâturage d'été et rembrayage progressif des surfaces de fauches

A partir de fin juin la pousse de l'herbe commence à ralentir et il devient alors nécessaire d'allonger le temps de retour sur les parcelles (multiplié par deux ou trois), afin d'éviter un affaiblissement de la prairie. Le risque majeur est de réaliser une accélération à contretemps, c'est-à-dire d'accélérer la vitesse de rotation pour pallier au manque de ressources, mais ce qui se traduit par un retour trop rapide sur des parcelles où l'herbe n'a pas encore réalisé sa flambée de croissance. Deux stratégies éventuellement combinées permettent d'adapter le chargement aux ressources disponibles : le rembrayage (augmentation de la surface pâturée) et un déchargement du nombre d'animaux.

La gestion du pâturage d'été se fait grâce à la réintégration progressive dans la surface pâturée des surfaces de fauche : c'est ce que l'on appelle le rembrayage. Celui-ci se fait de manière échelonnée puisque l'on réintègre en premier les surfaces qui ont été enrubannées pour ceux qui en font (coupe plus précoce que pour le foin), puis les différentes parcelles fauchées de manière décalée grâce au déprimage. Le cas de figure suivant est à ce titre illustratif :

1^{er} tour été (juillet) : réintégration des parcelles enrubannées

2^{ème} tour été (août) : réintégration des parcelles fauchées

3^{ème} tour été (septembre) : réintégration des parcelles de 2^{ème} coupe (quand il y en a)

Le nombre de parcelle fauchée en deuxième coupe est très variable selon les années. Les éleveurs donnent en effet la priorité au pâturage par rapport au foin. S'il y a donc suffisamment de ressources pour le pâturage en été, certaines parcelles en seront pas réintégrées tout de suite et donc fauchées une seconde fois. Les années de sécheresse, les deuxièmes coupes sont quasi inexistantes.

Le déchargement en animaux peut se faire de deux manières : par la vente d'animaux (broutards ou animaux engraisés) ou bien par le départ d'animaux pour des parcelles spécifiques gardées pour cette période, comme par exemple des prairies humides ou bien, dans le cas des plusieurs éleveurs du plateau de Millevaches, par le départ d'animaux à faibles besoins (par exemple des brebis taries) en laissant les repousses des prairies aux animaux à forts besoins comme les agneaux d'herbe.



Brebis limousines sur l'estive du Longeyroux

En cas de sécheresse estivale marquée, et une pousse de l'herbe ralentie, les animaux peuvent éventuellement être stockés sur une parcelle, qui est alors « sacrifiée », et affouragés.

5) Pâturage d'automne et d'hiver

Le pâturage d'automne est extrêmement dépendant des conditions climatiques. Les bonnes années, il est conduit de manière similaire à un pâturage de printemps, avec toutefois un temps de retour supérieur au printemps. De la même manière que des surfaces spécifiques peuvent être rajoutés à la surface pâturée en été, on peut faire de même à l'automne et en hiver. Deux cas ont été identifiés :

- déchargement d'animaux sur des espaces semi naturels comme des landes (automne et hiver)
- déchargement d'animaux pour les finir sur des surfaces spécifiques comme des couverts végétaux et intercultures (automne)



Vaches sur colza fourrager fin septembre

Selon les besoins des animaux et selon la pousse de l'année, les animaux commenceront à être affouragés à partir de fin novembre pour les mauvaises années à fin décembre. Pour les éleveurs disposant d'une stabulation, la majeure partie des animaux rentrent en bâtiment, avec toutefois un lot qui continue à tourner sur toutes les parcelles en extérieur, en consommant l'herbe disponible de manière opportuniste, et toujours avec du foin en complément. Pour les éleveurs en plein air intégral, les lots tournent également sur toute la surface, en ajustant le chargement selon la portance des sols. Le foin est distribué en râtelier ou bien déroulé à même le sol ce qui permet à tous les animaux (dominant et dominés) d'avoir accès au foin, et de ne pas concentrer les animaux toujours au même endroit.

Très peu de céréales sont distribuées au cours de l'hiver. Elles sont données en priorité aux mères ayant mis bas à l'automne et donc en pleine lactation ou bien aux petites génisses d'un an.

6) Leviers techniques pour maintenir une flore sur les prairies permanentes

Le bon fonctionnement écologique et agronomique d'une prairie, sa capacité à résister aux aléas climatiques et à nourrir un troupeau de ruminants de manière équilibrée va fortement dépendre de sa composition, elle-même sous le contrôle des pratiques d'élevage.

En effet, les différentes espèces botaniques présentes dans les prairies n'ont pas les mêmes besoins ni les mêmes tolérances aux différentes contraintes biotiques ou abiotiques comme la résistance au piétinement, la tolérance à des fréquences de fauche élevées, les besoins en lumière etc. Des pratiques des éleveurs vont donc fortement dépendre la composition des prairies, et notamment l'équilibre graminées/légumineuses, et en particulier le trèfle blanc.

i) Déprimage et mise à ras avant l'hiver

Le **déprimage** consiste donc à démarrer le pâturage tournant à partir de 300°j dans l'objectif de faire un premier passage sur l'ensemble de la surface fourragère, y compris les prés de fauche, avant les 500°j, date à laquelle les animaux doivent quitter la surface à faucher. Comme énoncée précédemment, le déprimage permet de sortir les animaux plus tôt (et donc d'allonger la période de pâturage) et d'induire un décalage de la pousse de l'herbe aussi bien sur les prés de fauche que les pâtures.

D'un point de vue écologique, le déprimage présente trois atouts, quand il est bien conduit :

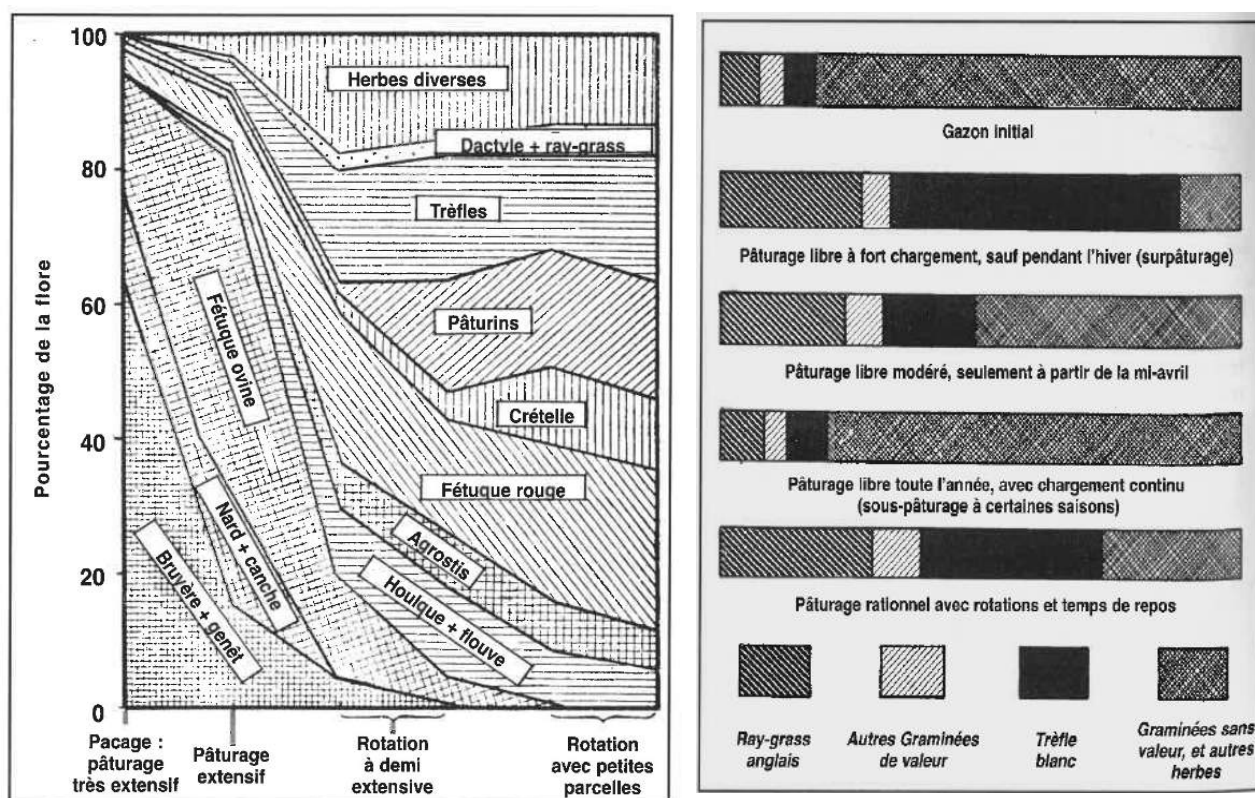
- l'épiaison n'est pas retardée, la croissance entre nœuds diminue, les tiges sont plus courtes et laissent mieux rentrer la lumière, ce qui est favorable au trèfle blanc (Voisin, 1957; Davies, 2001), plante de lumière moins réactive au printemps et avec le risque de le voir régresser.
- Si la phase reproductive se poursuit (donc pour la production de foin), la graminée comporte moins de talles montés, la disparition des talles végétatives au cours de la période de reproduction est moins intense et la repousse est donc plus rapide, permettant de rembrayer les prés de fauche plus rapidement dans la saison estivale
- un déprimage précoce laisse plus de temps à la plante pour reconstituer ses réserves et développer son appareil racinaire avant que les tiges ne s'allongent. Le tapirs racinaire sera donc plus fourni (Der Khatchadourian, 1955 ; Gillet, 1980)

La **mise à ras** avant l'hiver, opérante surtout chez les éleveurs qui rentrent leurs animaux en bâtiment en hiver, consiste à imposer aux animaux, dans la mesure du raisonnable pour éviter

le parasitage, à pâturer les parcelles de fauche et de pâture suffisamment à ras avant l'hiver. Cette pratique permet de limiter les zones de refus, de dégager les couronnes des espèces prairiales et ainsi de donner un meilleur accès à la lumière au trèfle blanc.

ii) Mode de pâturage et ordre des parcelles dans la séquence de pâturage

Le temps de retour sur une parcelle va fortement impacter la composition de la prairie, puisqu'il aura comme effet une sélection des plantes qui seront les plus compétitives dans les conditions d'exploitation données. Un temps de repos très long, voire l'utilisation d'une parcelle uniquement à certaines saisons aura pour effet la sélection d'une flore avec une mise en réserve au printemps lente et une bonne aptitude au report, alors qu'un temps de repos court favorisera les espèces plus agressives et/ou résistantes au pâturage. A noter que selon les objectifs des éleveurs, par exemple l'affectation d'une parcelle au report sur pied, il est possible d'ajuster ses pratiques en fonction du type de flore que l'on souhaite voire apparaître. Dans les cas des éleveurs finissant à l'herbe des animaux, des parcelles productives avec une flore équilibrée est nécessaire, d'où la nécessité de respecter un temps de retour optimal.

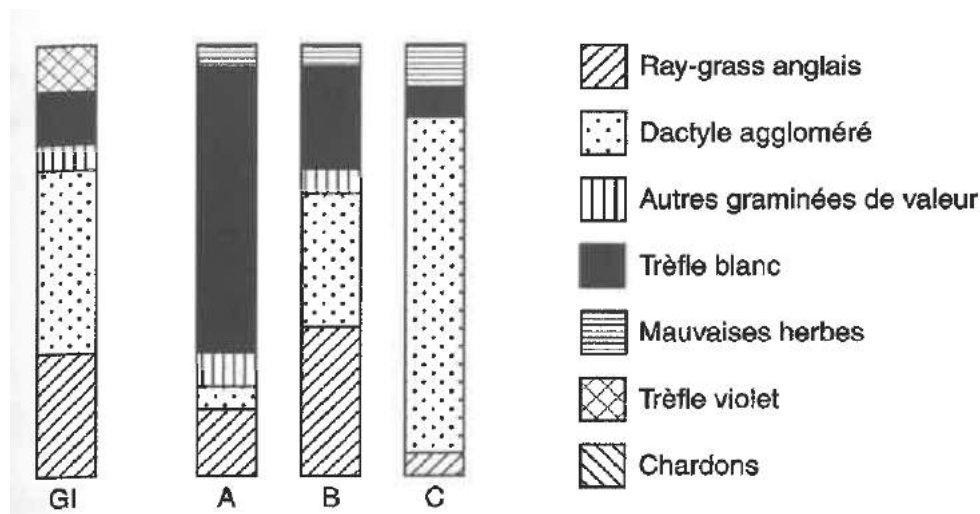


Impact de l'intensité de pâturage (gauche) et de la gestion du pâturage sur la composition botanique des parcelles

Source : Voisin, 1960 d'après Klapp et Jones

De même l'ordre dans lequel sont pâturées les parcelles chaque année peut induire une pression de sélection à l'origine d'une hétérogénéité de parcelles : en effet, si une parcelle est toujours pâturée en premier dans la rotation en début de printemps, cela induit l'apparition d'une flore précoce alors que les parcelles pâturées en fin de rotation présenteront une flore

plus tardive, avec une meilleure aptitude au report, d'où l'intérêt de changer l'ordre des parcelles tous les ans.



Impact de l'ordre des parcelles dans la séquence de pâturage sur la sélection de la flore
Source : Voisin, 1960 d'après Jones

Dans la figure précédente, la parcelle GI correspond à la composition de l'ensemble des parcelles au semis et les parcelles A, B et C sont respectivement situées en début, milieu et fin de séquence de pâturage au printemps. On peut observer les différences en lien avec la sélection de flores très différenciées.

A noter que les résultats obtenus dans l'exemple précédent correspondaient à des parcelles placées dans des conditions similaires, et que donc les conditions pédoclimatiques comme l'exposition ou bien la profondeur et la nature du sol sont bien sûr à l'origine de forte variation de flores qui sont intégrées dans les choix techniques des éleveurs.

iii) Alternance fauche/pâturage

Pâturage et coupe ont des effets distincts sur les prairies. Avec le pâturage, l'herbe est cisailée à des hauteurs différentes par l'animal qui choisit les plantes ou parties de plantes les plus appétantes. La coupe au contraire s'effectue à une hauteur uniforme et s'applique à toutes les plantes composant la prairie de façon non sélective (Voisin, 1960). La présence d'animaux se traduit également par une fertilisation, grâce à l'urine et aux déjections, et par un piétinement entraînant un tassement du sol qui rend la couche végétative plus serrée et facilite l'accès à la lumière des plantes de hauteur peu élevée (Voisin, 1960). Les plantes fourragères se caractérisent par une sensibilité variable à la coupe ou au pâturage :

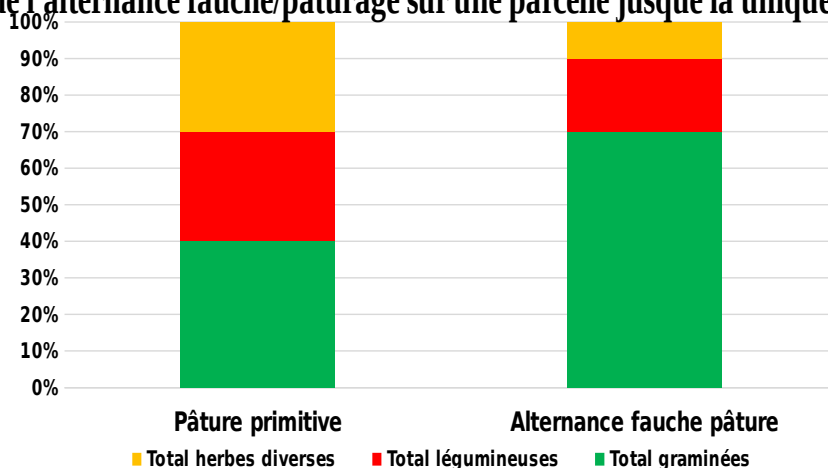
Graminées hautes : sensibles à la coupe et défavorisées par le pâturage	Graminées basses + trèfle blanc : peu sensibles à la coupe et favorisées par le pâturage
Brome sans arrêtes	Fétuque rouge
Fromental	Avoine jaunâtre

Dactyle aggloméré	Pâturin des prés
Fléole des prés	Crételle des prés
Fétuque des prés	Ray grass anglais
Vulpin des prés	Agrostide blanche
Phalaris roseau	Pâturin commun
Phalaris des marais	Trèfle blanc

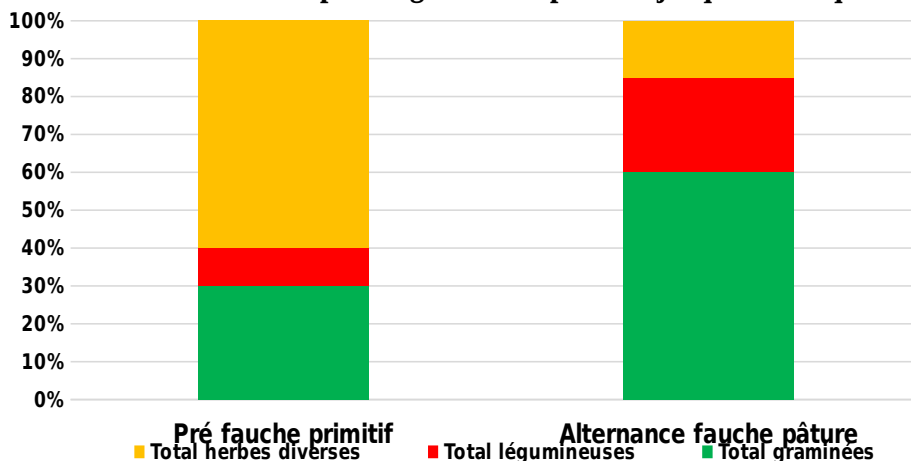
Source données : Voisin, 1960

On est donc ici aussi en présence d'un levier technique extrêmement important dans la gestion des prairies, comme on peut le constater dans les trois exemples suivants cités par Voisin (1960) d'après les expériences de Czerwinka :

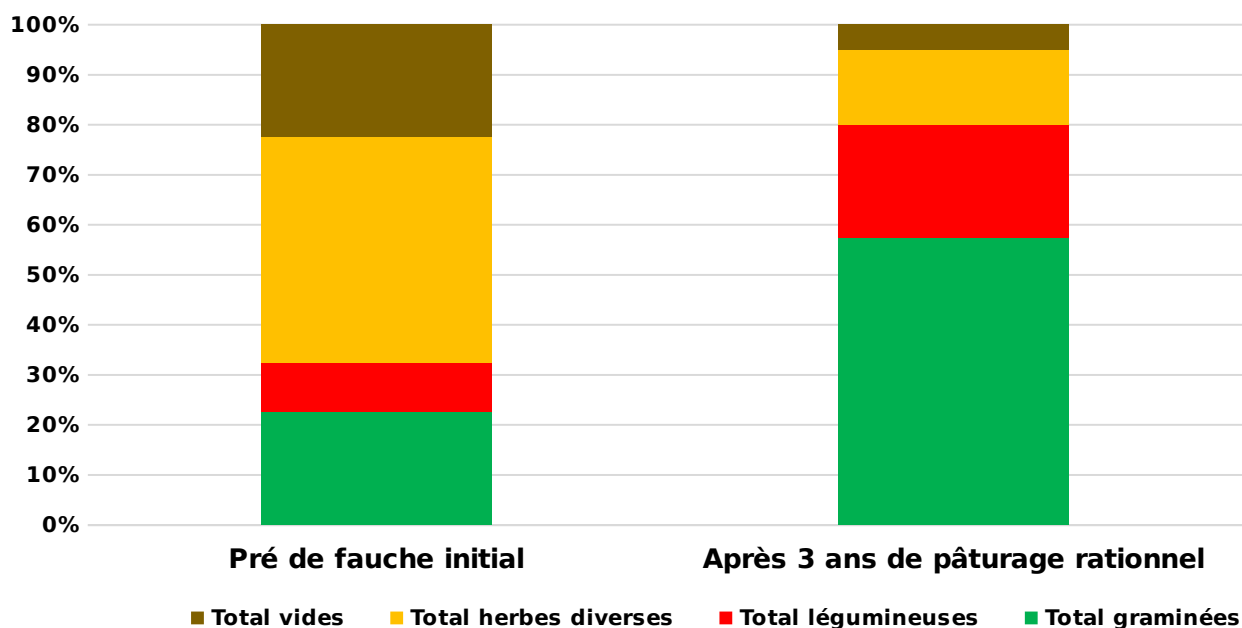
Influence de l'alternance fauche/pâturage sur une parcelle jusque là uniquement pâturée



Influence de l'alternance fauche/pâturage sur une parcelle jusque là uniquement fauchée



Diminution des vides et des mauvaises herbes grâce au pâturage rationnel



A noter qu'à ce choix si l'alternance fauche/pâturage est en théorie bénéfique à la composition botanique des prairies, elle est fréquemment difficile sur de nombreuses exploitations dont l'intégralité des prairies n'est pas moto-mécanisable (trop de pente, trop de rochers...). De plus, les prairies temporaires sont en général plutôt fauchées les premières années, le piétinement des animaux pouvant être néfaste sur une prairie récemment implantée.

Si la gestion optimale du pâturage est nécessaire pour réussir à finir des animaux au pâturage, plusieurs choix techniques des éleveurs permettent l'optimisation de ces systèmes. On peut en citer trois : la date des naissances, les critères de sélection et les choix d'élevage des éleveurs apparaissent ici essentiels, que l'on va s'attacher ici à détailler.

C) Adaptation zootechnique des systèmes d'élevage à la finition au pâturage

1) Dates d'agnelages et vêlages

On peut différencier deux types de stratégies selon le type d'élevage et selon la durée de cycle de production.

Pour les éleveurs ovins, dont la production principale sont les agneaux qui ont un cycle de vie court, la production d'agneaux d'herbe passe systématiquement par un calage des agnelage permettant de profiter du pic de croissance de l'herbe au printemps, à faire coïncider avec les besoins des brebis qui atteignent un pic un mois après l'agnelage. Les agnelages de fin d'automne sont généralement destinés à la production d'agneaux de Pacques, élevés et engraisés intégralement en bergerie.

Pour les éleveurs bovins, aux productions bien plus diversifiées (davantage de latitude de la part des filières), trois stratégies sont rencontrées :

- Vêlage de fin d'été de manière à faire partir les veaux en broutards avant le début de l'été, période marquée par des sécheresses de plus en plus récurrentes. Elle présente le désavantage de coûter cher en terme alimentaire au cours de l'hiver, puisque vaches suitées et veaux ont alors de forts besoins.
- Vêlage de fin d'automne de manière à faire partir les broutards au cours de l'été. Par rapport à la stratégie précédente, elle permet de caler une plus grosse part de la croissance des veaux sur l'herbe pâturée, avec un risque en cas de sécheresse plus conséquent.
- Vêlage de début de printemps : suit la même logique que pour l'élevage ovin puisque l'on cale le pic de besoins des mères avec le pic de croissance de l'herbe printanier. Le risque de plus en plus récurrent de sécheresses fait que ce choix est de plus en plus remis en question puisque les éleveurs se retrouvent en plein été avec des animaux en pleine croissance, qu'il faut parfois compléter. Des dires des éleveurs, en cas de bon année c'est le choix technique le plus approprié et le plus économique.

2) Critères de sélection

Les schémas de sélection des races à viande spécialisées se sont concentrées sur le potentiel de développement musculaire et sur le potentiel laitier des mères, afin de bien soutenir la croissance des veaux au cours de leurs premiers mois. Ces choix ont conduit à l'apparition d'animaux de plus en plus massifs, avec dans le cas de la race bovine limousine des vaches adultes de plus d'une tonne. La taille du rumen n'ayant guère évolué, ces animaux ne peuvent être engraisés qu'avec des rations extrêmement concentrées en énergie, le plus souvent à base de céréales ou d'ensilage. Les éleveurs qui finissent des animaux au pâturage ne se retrouvent généralement pas dans les schémas de sélection classiques et cherchent à adapter autant que possible leurs animaux à leurs systèmes. Ici aussi plusieurs stratégies peuvent être envisagées.

i) Le choix de la race

Les caractéristiques données d'une race (et notamment le gabarit, la rusticité, la précocité...) peuvent orienter le choix initial d'une race, d'autant plus en élevage bovin où les croisements sont peu fréquents. Au sein des éleveurs du CIVAM, la race bovine ultra majoritaire est la Limousine, race à viande spécialisée dont la conformation permet une commercialisation en filière longue même en faisant de l'engraissement et finition à l'herbe. Le choix de races rustiques comme la Galloway sont le fait d'éleveurs commercialisant l'essentiel de leur production en filière longue, l'Aubrac étant un choix intermédiaire (commercialisation en filière longue possible).



Exemples de races bovines utilisées par les éleveurs du réseau pour engraisser et finir à l'herbe : de gauche à droite vaches de race Limousine (race à viande), Aubrac (race mixte et rustique) et bœuf Galloway (race rustique anglo saxonne)

En élevage ovin, le choix initial est moins impactant, les cycles de vie étant plus courts et les croisements plus fréquents. Les éleveurs ovins du plateau faisant face à des contraintes pédoclimatiques plus marquées, le choix d'une race rustique pèse plus dans la balance que dans la plaine, raison pour laquelle la Limousine y sera majoritaire alors que dans la zone de piémont on trouvera plus de races à viande spécialisées.

Si le choix de la race aura un fort impact sur les résultats zootechniques en système pâturant, la sélection réalisée par chaque éleveur sur son exploitation aura un impact tout aussi important, si ce n'est prépondérant. Bien garder également à l'esprit qu'au sein d'une race comme la Limousine (ovin et bovin) de très fortes variations demeurent et qu'il appartient à chaque éleveur de choisir les souches les plus adaptées à son système, via le choix de mâles reproducteurs, des génisses de renouvellement et des mères.

ii) Critères de sélection du renouvellement et des mâles reproducteurs

Chaque éleveur a ses critères de sélection pour le **renouvellement** qui lui sont propres mais plusieurs ressortent de la plupart des entretiens :

- **caractère** : les génisses/agnelles les plus nerveuses partent à l'engraissement
- **qualité des aplombs** ce qui se voit dès 2 ans pour les bovins. Les vaches qui ont les ongles qui poussent dès 2 ans sont une catastrophe puisqu'il faudra tailler les ongles tous les ans, en prestation de service par le maréchal ferrant
- **qualité des parents** : fille d'une bonne mère et bonne laitière qui a fait régulièrement de bons veaux/agneaux. Les qualités maternelles peuvent parfois se traduire pour les bovins par des vaches un peu agressives dans les premiers jours suivant le vêlage

Pour les **mâles reproducteurs**, toute la difficulté consiste à trouver des animaux élevés dans des conditions proches de celles des éleveurs, ce qui est très rarement le cas. Les éleveurs combinent le plus souvent diverses stratégies : achats de reproducteurs à des voisins ou éleveurs conduisant leurs animaux de manière similaire (dans la mesure du possible), achats de reproducteurs typés viande ou élevage dans le schéma de sélection classique et lorsque

c'est possible achats de mâles précoces (par exemple taureaux limousins des souches à veaux sous la mère, plus précoces) pour faciliter l'engraissement.

3) Habituer les jeunes animaux au pâturage

Les animaux passant la plupart de leur vie au pâturage, il est essentiel de les habituer le plus vite possible à l'herbe pâturée, ce qui passe par le développement de la panse. Pour les animaux de renouvellement, il est donc important de limiter les apports de concentrés et de leur faire ingérer un foin grossier le premier hiver, ce qui stimule le développement du rumen.

D) Résultats de finition au pâturage

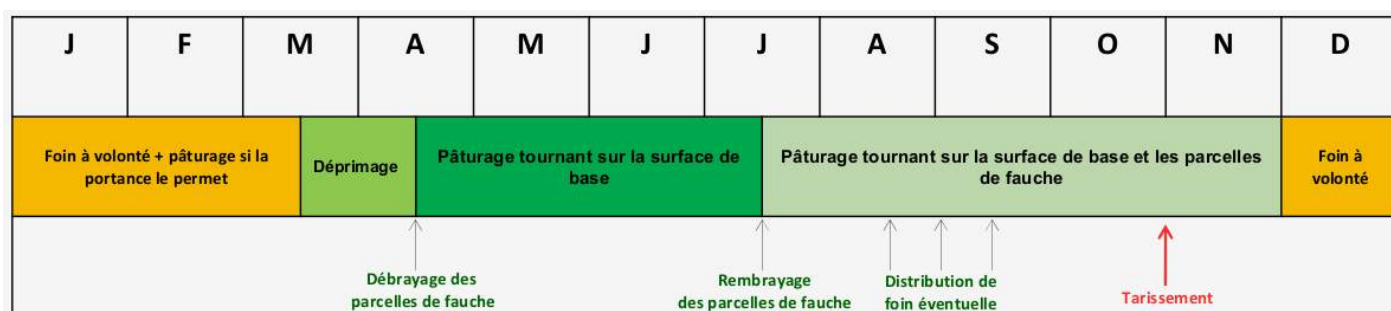
Les éleveurs cherchent donc à favoriser le pâturage des animaux à un stade optimal et pendant la période la plus longue possible. Les deux saisons les plus propices pour une finition au pâturage sont donc le printemps (principalement) et l'automne (selon les années). Les éleveurs ne cherchent pas à compenser la baisse de disponibilité en ressources fourragères par une complémentation avec une ration plus énergétique (et plus coûteuse), le foin permettant une poursuite de la croissance plus lente ou bien une stagnation de l'état des animaux. Ces derniers ont une phase d'engraissement discontinue, qui peut donc se s'échelonner sur plusieurs saisons. En période d'engraissement (donc printemps et parfois automne), l'herbe est la seule composante de la ration.

A partir des données précédemment présentées on peut fournir ici quelques calendriers fourragers types d'animaux à l'engrais, avec des courbes types d'engraissement comparées à des congénères finis à l'auge.

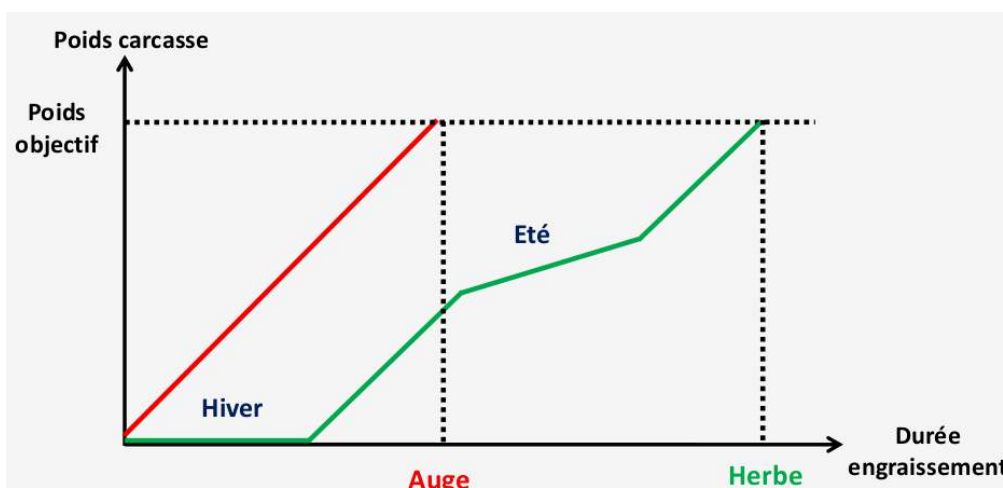
1) Bovins

i) Calendrier fourrager type pour une réforme finie à l'herbe

On considère aussi une vache mise à la réforme suite au sevrage de son veau à la fin de l'automne. Selon que la vache sera finie à l'auge ou à l'herbe, le temps d'engraissement et la courbe d'engraissement n'auront pas du tout le même profil.



Calendrier fourrager d'une vache à l'engraissement (réalisation : auteur)



Courbes d'engraissement comparées de vaches de réforme finies à l'auge ou à l'herbe (réalisation : auteur)

On peut remarquer que l'origine du temps d'engraissement plus long ne dépend pas forcément des différences nutritives entre herbe pâturée et ration à l'auge (en général mélange foin/céréales/correcteur azoté), plusieurs études conduites au sein du Réseau CIVAM ayant d'ailleurs montré la richesse d'une herbe de prairie permanente pâturée au stade optimale, mais bien des variations saisonnières de la disponibilité en ressources. Ainsi, quand deux vaches commencent leur engraissement au début de l'hiver, celle à l'auge démarrera son engraissement quasi immédiatement alors que celle à l'herbe sera tenue en état au foin avant de commencer son engraissement effectif au printemps suivant.

ii) Résultats zootechniques (bovins de race Limousine et Aubrac)

Pour les éleveurs bovins, on peut trouver trois types d'animaux finis à l'herbe : les **vaches de réformes**, les **génisses lourdes** et les **bœufs**.

Les vaches de réforme sont les animaux les plus facile à finir au pâturage. La réforme se fait sur les problèmes de pieds, les mammites et une production laitière insuffisante et ne permettant pas une bonne alimentation du veau. Une vache perdant son veau de manière prématurée partira généralement à l'engraissement. Si le lot de réforme n'est pas assez conséquent, il est possible de vendre le veau à l'âge de 3 semaines en veau nourrisson, permettant ainsi à la mère de partir à l'engraissement. L'anticipation de la réforme se fait un an à l'avance pour celles présentant l'un des problèmes précédemment énoncés : les éleveurs constituent un lot de vaches suitées qui évoluera sans taureau et qui partira ensuite à l'engraissement.

- Avec mise bas à l'automne, les veaux sont sevrés en juin, les vaches se remettent en état au cours de l'été et une saison de pâturage automnale peut être suffisante pour les finir, si la vache est en bonne santé et la saison poussante. Autrement, la vache passera l'hiver au foin (pas de perte de poids si elle a déjà commencé son engraissement) et se finira au cours du printemps suivant.

- Avec mise bas au printemps, les veaux sont sevrés à l'automne puis les vaches passent l'hiver en bâtiment ou bien dehors au foin. Elles s'engraissent ensuite relativement vite au

printemps, avec parfois besoin de prolonger jusqu'à l'automne. A noter que les animaux qui passent l'hiver dehors s'engraissent mieux au printemps, puisque la transition alimentaire est très rapide

La durée d'engraissement moyen des réformes est de 8 à 10 mois, pour un poids carcasse compris entre 380 et 420 kg pour un état d'engraissement moyen R+3 à U-3. Les éleveurs observent peu de différences en termes de conformation et poids carcasse par rapport à un engraissement antérieur en stabulation, mais avec un temps d'engraissement facilement multiplié par deux.

Les génisses sont le deuxième animal fréquemment fini à l'herbe. Si quelques génisses partent comme broutardes (en général les animaux les moins beaux), la majeure partie des génisses sont élevées ensemble. A un âge moyen de 2 ans, les génisses sont séparées en deux lots, un pour la reproduction (et le plus souvent inséminé) et un lot d'engraissement. Le tri intervient au cours de l'hiver, ce qui implique que les animaux commencent leur engraissement au printemps. A la différence des réformes, leur croissance n'est pas achevée et il leur faudra plus de temps pour se finir que les vaches, une partie de l'énergie et des protéines étant utilisée pour le développement de l'animal. La première saison de pâturage (le printemps) ne permet donc pas un bon engraissement puisque l'animal est encore en croissance. Il faut donc systématiquement plus d'un an pour pouvoir engraisser une génisse, qui sera vendue à un âge de 3 ans à 3 ans et demi, avec un poids carcasse en général inférieur à celui des réformes (entre 360 et 380 kg) et des notes de conformation à peu près semblables.

Les bœufs sont moins fréquents, du fait de la difficulté qu'il y a à les finir. Ils sont conduits de la même manière que les génisses de boucherie, avec une castration au sevrage, donc aux alentours de 9 mois. Il faut en moyenne compter 1 an de plus pour finir un bœuf par rapport à une génisse, avec des animaux abattus à 4 ans - 4 ans et demi. Ils font entre 450 et 500 kg PC.

Les durées d'engraissement indiqués dans le cas des bovins sont les durées optimales, afin d'avoir des carcasses suffisamment lourdes et de bonnes notes de conformation. Toutefois, il arrive de devoir vendre un animal avant qu'il soit fini, du fait d'un besoin en trésorerie ou bien d'une vente directe. Dans ce dernier cas, des carcasses plus légères et moins bien conformées n'est pas grave, puisque la note à l'abattoir n'a pas d'effet sur la rémunération de l'éleveur, et que cela représente ainsi moins de viande à commercialiser d'un coût. Pour cette raison, les bœufs sont plus difficiles à passer en vente directe, puisqu'ils représentent des quantités colossales de viande, et donc impliquent de trouver suffisamment de clients. Les éleveurs labélisés en agriculture biologique peuvent les vendre en filière longue, la filière bio étant en manque de volumes. Les bœufs ne sont en revanche pas bien rémunérés en conventionnel, ce qui n'incite pas les éleveurs à s'engager dans cette voie.

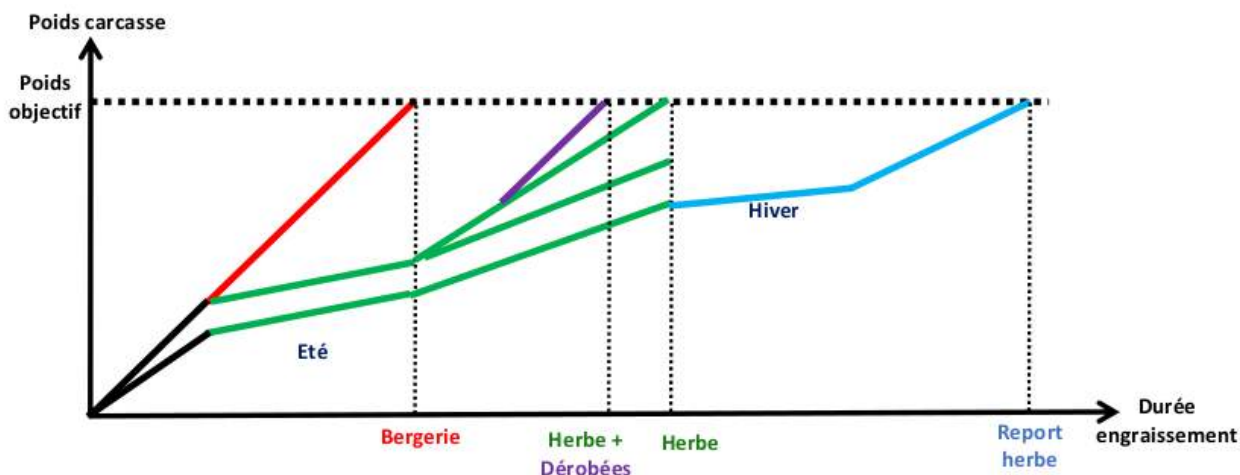
2) Ovins

i) Calendrier fourrager type agnelages de printemps

On considère ici des agneaux nés au printemps (mi avril avec sevrage au cours du mois de juillet) et conduits selon 4 itinéraires différents : une finition en bergerie classique après un temps de pâturage, une finition à l'herbe à la fin de l'automne, une finition sur dérobées en milieu d'automne et une finition à l'herbe sur un agneau de report :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
AGNEAUX				Déprimage	Pâturage tournant sur la surface de base			Surface de base + prés de fauche + ZH		Dérobée (colza, navette)	Surface de base + prés de fauche	
DE REPORT	Pâturage + foin de prairie			Déprimage	Pâturage tournant sur la surface de base							

Calendriers fourragers d'agneaux d'herbe (réalisation : auteur)



Courbes d'engraissement comparées d'agneaux finis en bergerie, à l'herbe, sur dérobées ou bien à l'herbe en report (réalisation : auteur)

La diversité des itinéraires symbolise la difficulté qu'il peut y avoir à finir des agneaux à l'herbe, animaux jeunes n'ayant pas fini leur croissance et étant donc plus difficiles à engraisser. Si la finition sur dérobées permet d'accélérer le processus, seules les têtes de lot et en général les mâles atteignent le poids objectif des filières longues (en général 18-19 kg de PC) dans la tranche d'âge imposée (4-12 mois). Les agneaux d'herbe sont en général vendus moins lourds, moins bien conformés et/ou engraisés, parfois même vendus en maigre. Ceux qui ont moins bien profité du printemps et de l'automne, en général les agneaux doubles, sont les plus susceptibles de passer en report. A noter que cette solution ne semble envisageable pour commercialiser en filière longue qu'avec des races à viande spécialisées avec une conformation suivante, et ce uniquement en filière bio. Les agneaux limousins de report ne semblent pas commercialisables en filière longue.

ii) Résultats zootechniques

De la même manière que leurs équivalents bovins à l'herbe, les agneaux ont une croissance plus lente à l'herbe et donc se finit dans un temps deux à quatre fois plus longs que leurs homologues de bergerie, engraisés aux concentrés en bergerie.

Il faut ici aussi distinguer les mâles des femelles, les mâles étant la plupart du temps castrés (comme le temps d'engraissement est plus long il y a un risque que les plus précoces

saillissent leurs mères ou les agnelles de l'année), et en sachant que la date de castration est variable d'un éleveur à un autre (au sevrage ou bien à la naissance selon les éleveurs). les mâles, même castrés, s'engraissent moins facilement que les femelles, dans une filière où l'excès de gras est pénalisé, et ont un potentiel de développement musculaire plus important, ce qui leur permet d'arriver plus rapidement aux critères de filières, soit entre 18 et 20kg PC avec un état d'engraissement pas trop prononcé (2).

Les résultats vont aussi différer selon la localisation géographique des élevages. On peut observer les résultats suivants :

Localisation	Piémont	Plateau
Race(s) majoritaire(s)	Croisements races à viande spécialisées	Limousine
Vente des reprints possible en filière longue	✓	X
Pour agnelage avril, période vente mâles (filiale longue)	Octobre-décembre	
PC moyen	17-19 kg	14-18 kg
Conformation et état engraissement	U3 et R3	O2
Pour agnelage avril, période vente femelles (filiale longue)	Avril à juin	Octobre-décembre
Conformation et état engraissement	16-17 kg	13-15 kg
Conformation et état engraissement	R3	O2

Cette forte disparité de résultats montrent la difficulté qu'il peut y avoir à finir des agneaux à l'herbe dans les conditions du plateau, où la race majoritairement utilisée ne peut être utilisée pour faire du report et où la conformation sera fortement pénalisée en filière longue. Ces résultats seront discutés dans les chapitre suivant de ce document.

A noter que les brebis de réforme ne sont pas finies à l'herbe, du fait d'une rémunération insuffisante de la filière longue.

La finition au pâturage se distingue de la finition à l'auge par des animaux vendus en moyenne plus âgés, avec des durées d'engraissement 2 à 4 fois supérieures, et faisant de l'exercice tout au long de leur phase de finition. Il en résulte des animaux plus vieux, avec des résultats en terme de conformation et d'état d'engraissement qui sont conformes aux attentes des filières longues tant qu'il n'y a pas d'âge limite pour la vente, ce qui est le cas des bovins mais pas des ovins, pour lesquels la finition au pâturage s'avère plus complexe.

La ration de finition est ici quasi exclusivement composée d'herbe pâturée, le foin n'étant distribué qu'en période d'étiage fourrager (hiver et de plus en plus été). A noter que la maîtrise du pâturage traduit se traduit par l'offre aux ruminants en finition d'une herbe normalement pâturée au stade optimal, c'est à dire au stade feuillu, la ressource étant prélevé en priorité de prairies permanentes diversifiées.

A partir de ces données récoltées sur le terrain et une étude bibliographique, on va maintenant s'attacher à étudier le lien entre les pratiques et la qualité de la viande.

La ou les qualités des viandes ?

La qualité de la viande est un terme général qui peut couvrir de multiples dimensions. Si les qualités nutritionnelles et organoleptiques étaient celles qui avaient été priorisées au début de cette étude, plusieurs autres types de qualités se sont rajoutées au fur et à mesure. Les éleveurs doivent aujourd'hui faire face à de nombreuses demandes sociétales, et leurs produits doivent dans la mesure du possible se conformer à la multitude de ces demandes, qui sont dans certains cas (on y reviendra plus loin) sont antagonistes. Le cadre de cette étude dépassera donc la seule approche qualité des viandes au sens nutritionnel et organoleptique, puisqu'elle s'attachera à déterminer le lien entre finition au pâturage et une multitude de qualités, synthétisées dans le tableau qui suit :

QUALITÉ	CRITÈRES DÉTERMINANTS	DEMANDEURS
Nutritionnelle	- Teneur en macronutriments : acides aminés et acides gras - Teneur en micronutriments : vitamines, minéraux, antioxydants	Consommateurs
Organoleptique	- Couleur - Jutosité - Tendreté - Flaveur (rassemble sensations gustatives et olfactives)	
Sanitaire	- Présence de molécules carcinogènes (ex de la Metmyoglobine) - Présence de souches de bactéries pathogènes	
Socio-environnementale	- Impact environnementale du système de production - Bien être animal - Valeur sociale en terme de qualité de vie des éleveurs et création et/ou maintien d'emplois agricoles	Consommateurs, éleveurs et animaux
Carcasse	- Conformation - État d'engraissement - Couleur et fermeté du gras (dans le cas des ovins)	Éleveurs et bouchers
Technologique (ou bouchère)	- Gestion de la maturation - Caractère « pisseux » d'une viande - Facilité de découpe - Tenue de la viande sur un étal	Bouchers
Stabilité oxydative	- Teneur en antioxydants exogènes et endogènes	Tous

III) La qualité nutritionnelle des viandes

La qualité nutritionnelle de la viande correspond à sa teneur en nutriments d'intérêt pour la santé humaine. La viande apporte notamment des protéines, des vitamines, des peptides bénéfiques pour la santé, des lipides et des minéraux.

A) Déterminants de la qualité nutritionnelle

1) Protéines et acides aminés

La viande peut être vue en priorité comme un véritable concentré protéique puisqu'il s'agit de l'aliment présentant la plus haute teneur en protéines rapportée à la matière sèche. Or les protéines sont essentielles pour le bon fonctionnement de notre organisme, puisqu'elles assurent de très nombreux rôles.

Les protéines sont des polymères de molécules appelées acides aminés. Au nombre de vingt, seuls onze peuvent être synthétisés par l'organisme, les neuf restant devant être obligatoirement apportés par l'alimentation. Ces derniers sont dits « essentiels ». Les produits animaux présentent l'avantage de n'être carencés en aucun acide aminé, par exemple par rapport aux céréales carencées en lysine ou bien aux légumineuses carencées en acides aminés souffrés, et d'être facilement digestibles. Ainsi, si le soja ou bien le quinoa sont équilibrés en acides aminés, ces derniers sont accompagnés de facteurs anti nutritifs (métabolites secondaires végétaux comme la saponine, la lectine, les phytates...) qui empêchent la digestion d'une partie des acides aminés.

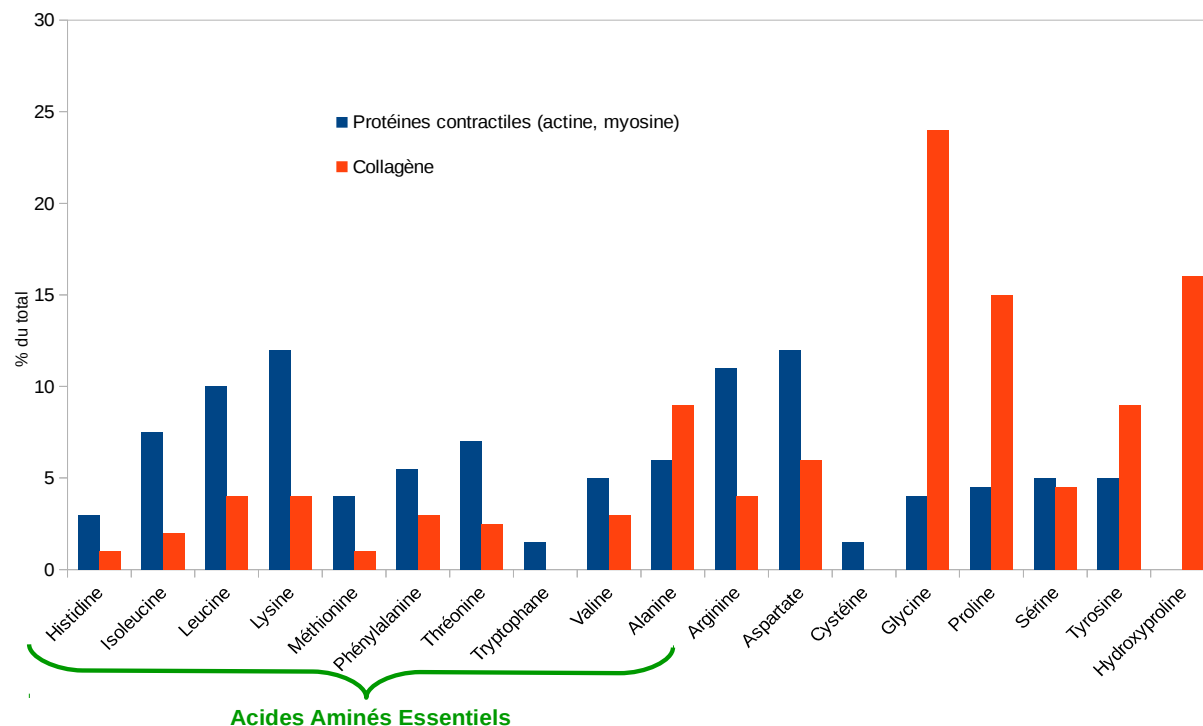
Acides aminés essentiels pour un adulte	Acides aminés essentiels pour un enfant	Acides aminés non essentiels
Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Méthionine, Phénylalanine, Thréonine, Tryptophane, Valine	Liste précédente + Arginine	Alanine, Arginine, Asparagine, Cystéine, Glycine, Glutamate, Glycine, Proline, Sérine, Tyrosine, Hydroxyproline

NB : à noter que seuls deux sont strictement indispensables (lysine et thréonine) car ils ne sont pas soumis à la transamination, ce qui rend leur désamination irréversible.

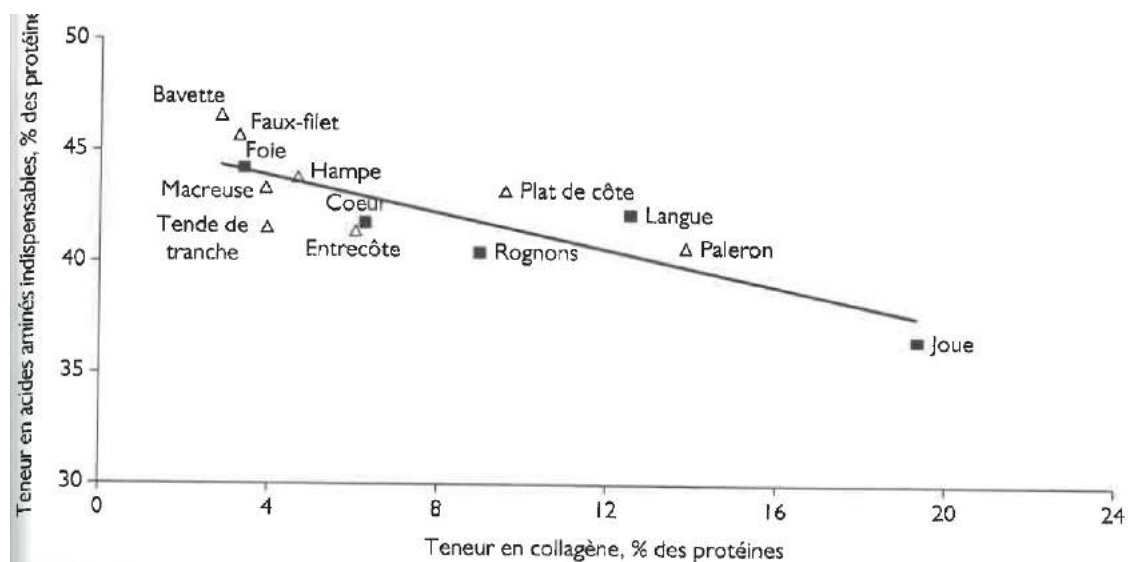
Les produits de ruminants présentent également l'avantage supplémentaire d'être équilibrés en acides aminés quel que soit le type de ration, à la différence des produits de monogastriques. En effet, une partie des protéines ingérées par les ruminants est dégradée puis utilisée par les microorganismes du rumen, qui synthétisent grâce à ces nutriments tous leurs acides aminés, dont les acides aminés essentiels. Ces derniers sont finalement digérés par les ruminants, qui intègrent dans leurs propres protéines les acides aminés néoformés et ceux issus directement de l'alimentation.

Ainsi, pour les ruminants, l'équilibre en acides aminés est toujours assuré. Les seules différences notables observées sont liées à la teneur en collagène (protéine du tissu conjonctif). A la différence des protéines musculaires, les protéines du collagène présentent une composition particulière : elles sont pauvres en acides aminés essentiels, carencées en tryptophane, riches en proline, hydroxyproline et en glycine. Ainsi, plus une viande est riche

en collagène et moins elle contiendra d'acides aminés essentiels. Toutefois, la proportion de collagène dans la quantité totale de protéines restant relativement faible (une moyenne inférieure à 10 % et une valeur maximum de 20 % dans la joue), cet effet reste limité.



Composition (mole/100) en acides aminés des protéines contractiles et du collagène bovin (d'après Rémond et al., 2010)



Teneur en acides aminés essentiels et collagène dans différents morceaux et abats de viande bovine (d'après Rémond et al., 2010).

Les facteurs d'élevage ont donc très peu d'impact sur le profil en acides aminés, celui-ci étant de toute façon déjà en adéquation avec la santé humaine.

En plus des acides aminés obtenus par dégradation des protéines alimentaires et par synthèse microbienne, la viande de ruminants peut également apporter des peptides d'intérêt pour la santé humaine, comme par exemple la **carnosine**, un dipeptide de l'histidine (β -alanine-L-histidine). Selon les morceaux, la teneur en carnosine varie de 100 à 500 mg/100g de tissu frais. Elle est plus élevée dans les muscles à métabolisme glycolytique et peut varier avec l'âge et/ou l'alimentation. En effet, elle semble légèrement diminuer chez les bovins entre 16 et 30 ans. De même, pour une même race et au même âge, les systèmes d'alimentation à base de fourrages conduisent à des teneurs en carnosine supérieures à celle observée avec des systèmes impliquant de fortes proportions de concentrés, type feedlot (Rémond, 2018).

La principale activité biologique de la carnosine est son pouvoir tampon qui lui permet par exemple de neutraliser la diminution du pH intracellulaire liée à la production d'acide lactique dans les muscles où la glycolyse anaérobie est particulièrement active. La carnosine présente également des propriétés antioxydantes vis à vis des protéines et des acides nucléiques notamment, du fait de sa capacité à fixer des ions métalliques divalents et à piéger des électrons libres. De plus, elle semble capable de réduire les aldéhydes formés à partir d'acides gras insaturés lors d'un stress oxydant. Elle aurait également un rôle prépondérant dans la protection contre la glycation et la réticulation des protéines. Cette réticulation des protéines interfère avec leur fonction tissulaire et peut conduire à des agrégations de matériel cellulaire sous formes de plaques. Elle pourrait donc jouer un rôle important dans la prévention des complications secondaires liées au diabète et à la protection contre les désordres neurodégénératifs tels que la maladie d'Alzheimer.

2) Lipides et acides gras

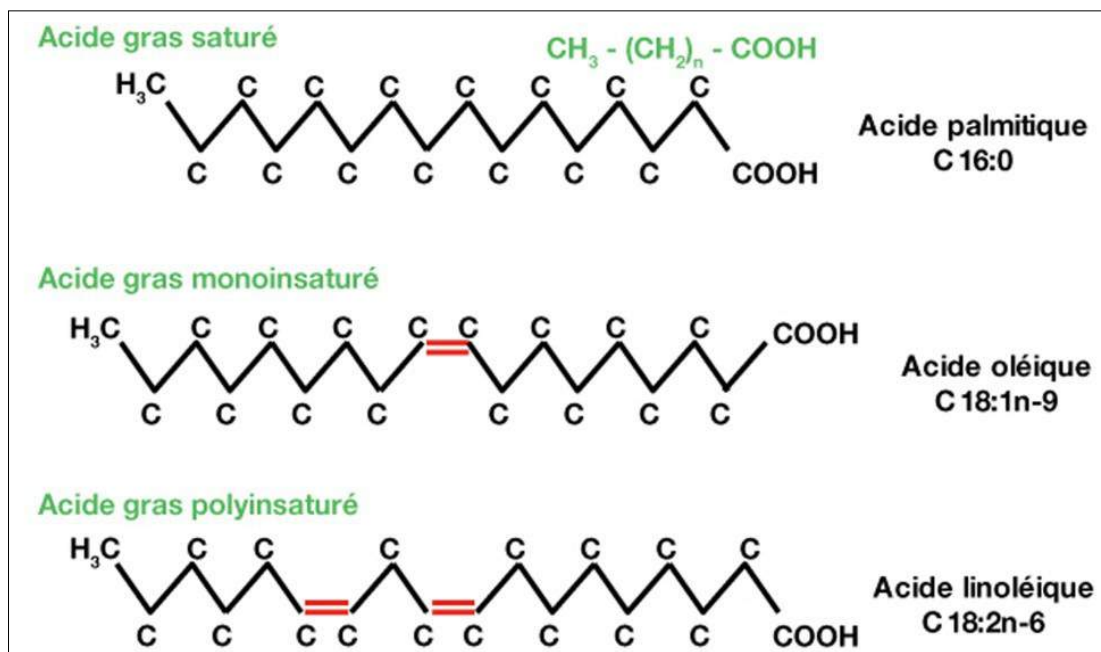
Les lipides, bien que ne représentant qu'une part modeste de la viande (1 à 15g/100g de tissu frais selon le morceau et l'état d'engraissement), sont vraisemblablement le constituant de la viande le plus décrié, puisqu'ils favoriseraient l'obésité et diverses maladies cardiovasculaires. Toutefois, il existe une forte diversité de lipides, dont l'effet sur la santé être bénéfique, neutre ou bien réellement néfaste. A la différence des protéines, dont le profil en acides aminés varie peu (exception faite du collagène), le profil en acides gras est beaucoup plus réactif au type d'alimentation.

i) Diversité des lipides

Les lipides forment une catégorie de molécules organiques spécifique. Ils forment un ensemble de molécules amphiphiles, c'est à dire ni hydrophiles ni hydrophobes, puisqu'ils possèdent une fonction acide carboxylique (pôle hydrophile) et une longue chaîne hydrogénocarbonées (pôle hydrophobe).

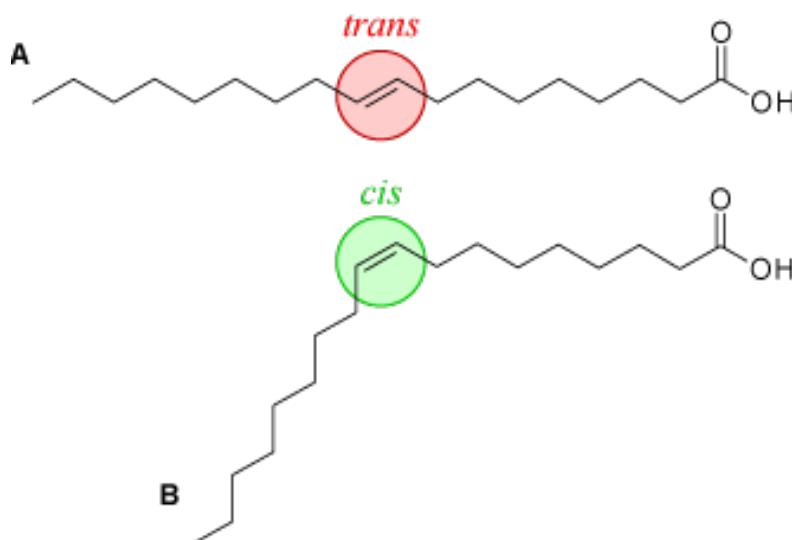
Les lipides ont comme éléments de bases les acides gras, de petites molécules de formule $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{n-2} - \text{COOH}$ avec n compris entre 4 et 18.

Si leur chaîne carbonée ne comprend aucune double liaison entre deux atomes de carbones, ils sont dit saturés (AGS). Autrement ils sont dit monoinsaturés (AGMI) ou polyinsaturés (AGPI).



Comparaisons de structure entre un AGS, un AGMI et un AGPI
(Source graphique : sciencedirect.com)

L'insaturation a comme propriété d'être rigide et induit la plupart du temps une courbure dans la structure de l'acide gras : on parle alors d'insaturation CIS. Lorsque la double liaison n'induit pas de courbure on parle d'insaturation TRANS (AGT) :



Comparaisons de structure entre un AGPI TRANS (A) et un AGPI CIS (B)
(Source graphique : sciencedirect.com)

Lorsque deux doubles liaisons ne sont séparés que par deux atomes de carbone, on parle de d'acide gras insaturé conjugué (CLA).

La taille de la chaîne de carbones et le nombre et position des insaturations s'il y en a vont induire des différences entre ces acides gras au niveau de leur fluidité des lipides de leur température de fusion. Ainsi :

- plus la longueur de la chaîne carbonée augmente, plus l'acide gras va avoir tendance à rester solide longtemps (la température de fusion augmente)

- plus le nombre d'insaturations augmente et plus l'acide gras aura tendance à se fluidifier facilement (la température de fusion diminue)

Ces acides gras vont présenter des rôles différents pour la santé humaine. Voici les principaux acides gras présents dans les viandes :

Nom	Formule	Catégorie	Impact sur la santé
Acide laurique	C12:0	AGS	Hypercholestérolémiant
Acide myristique	C14:0	AGS	Hypercholestérolémiant
Acide palmitique	C16:0	AGS	Pro athérogène
Acide stéarique	C18:0	AGS	Neutre
Acide oléique	C18:1 n-9	AGMI (oméga 9)	Bénéfique
Acide linoléique (LA)	C18:2 n-6	AGPI (oméga 6)	Bénéfique (à moduler selon le rapport oméga 6 sur oméga 3)
Acide linoléique (ALA)	C18:3 n-3	AGPI (oméga 3)	Bénéfique
Acide eicosapentaénoïque (EPA)	C20 :5 n-3	AGPI (oméga 3)	Bénéfique
Acide docosahexaénoïque (DHA)	C22 :6 n-3	AGPI (oméga 3)	Bénéfique
Acide vaccénique	C18 :1 t11	AGT	Précurseur CLA
Acide ruménique (CLA)	C18 :2 c9 t11	AGC	Hypocholestérolémiant

Note sur la nomenclature des acides gras : par exemple, la notation « C18:3 n-3 » indique qu'il s'agit d'une molécule à 18 atomes de carbones, 3 insaturations et la première est située entre le 3ème et 4ème atome de carbone.

Pour ce qui est des oméga 6 et oméga 3, il est important de rappeler que, s'ils doivent être présents en quantités suffisantes, leurs proportions relatives doivent être respectées. Ainsi, pour un effet sur la santé optimal, le rapport n-6/n-3 (ou bien $\omega 6 / \omega 3$) doit être inférieur à 5. Ainsi, l'insuffisance en oméga-3 et/ou un déséquilibre entre oméga 6 et oméga 3 contribuent à nombre de maladies chroniques telles que le diabète de type 2, certains cancers et certaines formes d'obésité, l'arthrite, l'asthme et les maladies cardiovasculaires, ainsi que certaines maladies du cerveau (dépression, Alzheimer, Parkinson) (Calder, 2013 ; Molfino et al., 2014). Les dérivés des oméga-6 et oméga-3 ont respectivement des rôles pro-inflammatoires et anti-inflammatoires (Patterson et al., 2012).

En outre, l'acide ruménique (CLA) fabriqué par les ruminants, est potentiellement bénéfique pour l'homme en termes de prévention et/ou de traitement de pathologies sévères (Salter, 2013). Les CLA ont le potentiel de protéger contre l'athérosclérose, le cancer, le diabète de type 2, de réguler l'immunité et de moduler la composition corporelle comme les oméga-3, mais la plupart de ces effets n'ont été démontrés que sur des modèles animaux et à des doses thérapeutiques.

Les acides gras sont rarement libres au sein de l'organisme et donc dans la viande. Ils sont le plus souvent associés au sein de lipides plus complexes, que l'on peut diviser en deux familles, les homolipides (uniquement composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène) et les hétérolipides (intégrant en plus du phosphore et de l'azote), elles-mêmes divisés en sous familles :

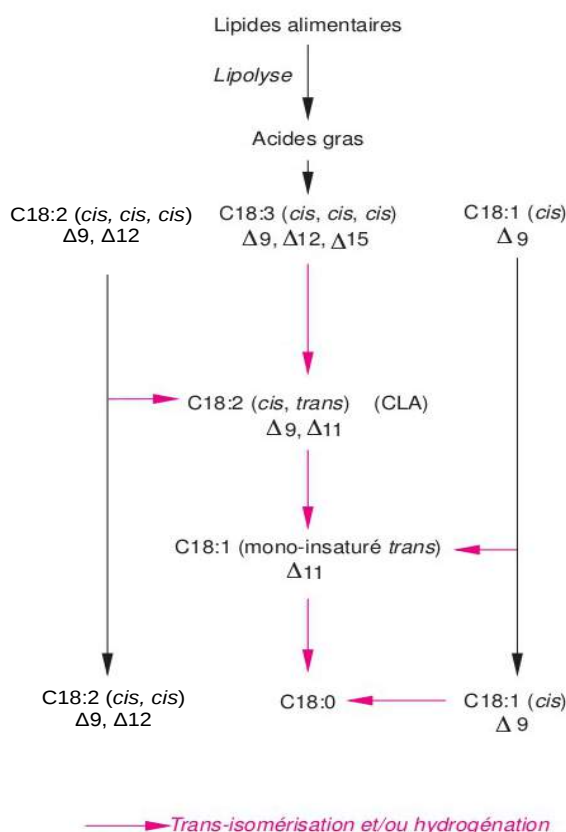
Famille	Sous famille	Structure de base	Localisation	Comportement
Homolipides	Triglycérides	Triacool (glycérol) + 3 acides gras	Adipocytes et gouttelettes lipidiques du cytosol	Fixe préférentiellement les AGS et AGMI
	Cholestérols	4 cycles stéroïdes + 1 longue chaîne carbonée (pôle hydrophobe) + 1 fonction alcool à laquelle est rattachée un acide gras	Membranes cellulaires et circulation sanguine lorsqu'ils sont associés à un acide gras	Peu sélectif sur le type d'AG et fixe donc davantage d'AGPI que les triglycérides
Hétérolipides	Phospholipides	Glycérol + 2 acides gras et 1 groupement phosphate	Membranes cellulaires	
	Sphingolipides	Diacool aminé + 1 acide gras		
	Glycolipides	Glycérol + 2 acides gras + 1 sucre simple (un ose comme le glucose ou le galactose)		

De la même manière que le fonctionnement ruminal affecte la digestion des protéines, il en est de même pour la digestion des lipides, que l'on va ici s'attacher à décrire.

ii) Digestion et biohydrogénation ruminale des lipides

La flore présente dans le rumen, et permettant notamment la dégradation de la cellulose, va également dégrader les lipides absorbés afin de récupérer les acides gras pour ses propres synthèses de lipides membranaires. Au cours de ce processus, les acides gras insaturés sont progressivement hydrogénés par les bactéries, avec comme produit final des acides gras stéariques à 18 carbones. Pour cette raison, à la différence des monogastriques, le profil en acides gras de la viande ne correspond pas à celui de l'alimentation. Ce processus de biohydrogénation va avoir de multiples conséquences. Au cours des multiples étapes de cette dégradation, de nombreux intermédiaires vont être formés, dont notamment des CLA (Conjugated Linoleic Acids) dont le principal isomère est l'acide ruménique (C18:2 c9 t11).

On observe donc de manière générale une forte diminution de la teneur en AGPI et AGMI, et cela d'autant plus que la flore du rumen est à tendance cellulolytique (ce qui se traduit par un pH ruminal relativement élevé. L'un des enjeux clés de la modification du profil en acides gras passera donc par un certain contrôle de la biohydrogénation ruminale. A noter que dans certaines conditions, notamment un **pH ruminal bas**, on observe un basculement de la synthèse de CLA vers la synthèse de C18 :1 t10 qui est lui néfaste pour la santé (Aldai et al., 2013).



Lipolyse et biohydrogénation des acides gras alimentaires du rumen
(D'après Geay et al., 2002)

3) Vitamines et minéraux

La viande, et notamment la viande de ruminant, est une source extrêmement importante de fer héminique (3 à 4 fois plus que la viande de porc ou de volaille), le fer héminique étant 5 à 6 fois mieux absorbé que le fer non héminique des végétaux. La viande rouge améliore également de 2 à 3 fois l'absorption du fer non héminique des autres aliments qui l'accompagnent au cours du repas. La viande sera d'autant plus riche en fer que les fibres musculaires sont de type I (rouge oxydatif), comme on le verra dans la deuxième partie. A noter que l'oxydation du fer héminique est à l'origine de la formation de la metmyoglobine, de plus en plus suspectée de favoriser le développement du cancer colo-rectal. Si sa présence reste importante pour la santé humaine, sa stabilité l'est tout autant, et donc la présence simultanée d'antioxydants comme la vitamine E.

La viande rouge est également une source privilégiée de zinc, qui est bien plus biodisponible que dans d'autres aliments, et en sélénium. Cela est entre autres dû à la présence de phytates

dans les produits végétaux qui chélatent le zinc et le fer, les rendant ainsi moins disponibles. On estime que 100g de viande de ruminants couvre entre 20 et 30 % des ANC en fer, zinc et selenium (Pereira et Vicente, 2013 ; Gruffat et al., 2015).

Enfin, la viande permet également d'apporter différentes vitamines d'intérêt, en particulier la vitamine A (ou bien son précurseur le β carotène) essentielle pour la croissance et le développement tissulaire, la vitamine E et les vitamines du groupe B, en sachant que la vitamine B12 peut uniquement se retrouver dans les produits animaux (50 à 100 % de l'ANC en vitamine B12).

B) Lien entre facteurs d'élevage et qualité nutritionnelle des viandes

1) Influence du type d'animal

Le type d'animal, c'est-à-dire les facteurs du type race, âge et sexe n'ont que très peu d'effets sur la qualité nutritionnelle de la viande. Par conséquent, les différences dans le profil en acides gras qui seront observée entre animaux seront plus le fait de différences d'adiposité, cette dernière étant liée au type d'animal (De Smet et al., 2004).

En effet, les proportions relatives des différents types d'acides gras ne varient pas au même rythme. En effet, les AGPI, les acides gras les plus bénéfiques pour la santé humaine, sont stockés préférentiellement dans les phospholipides membranaires, et ne représentent que quelques pourcentages des acides gras présents dans les triglycérides, eux même stockés dans les adipocytes. A l'inverse, les AGS et les AGMI sont stockés préférentiellement dans les adipocytes, soit la part de tissu adipeux qui varie le plus au cours de la phase d'engraissement. Ainsi, plus un animal s'engraisse et plus la part d'AGPI sera diluée par l'augmentation des quantités d'AGMI et AGS. Ainsi, par exemple, le rapport AGPI/AGS peut passer de valeurs supérieures à 0,5 sur des races maigres à 0,05 sur des races grasses. De même, à ration équivalente, un taurillon aura un profil en acides gras plus intéressant qu'une génisse, du fait d'une moindre dilution des AGPI dans les AGS et AGMI.

Le seul effet lié au type d'animal est lié à l'augmentation de la teneur en fer avec l'âge et selon la précocité de l'animal. Toutefois, cet effet ne sera à proprement parlé bénéfique que si le fer héminique est associé avec des antioxydants évitant la formation de composés potentiellement toxiques.

2) Influence de l'alimentation et des conditions d'élevage

Le mode d'alimentation va ici très clairement modifier le profil nutritionnel de la viande, et en particulier celui des lipides, de certaines vitamines et minéraux. On observe les différences les plus nettes notamment entre des animaux élevés à l'herbe et des animaux élevés en bâtiment avec des rations plus concentrées.

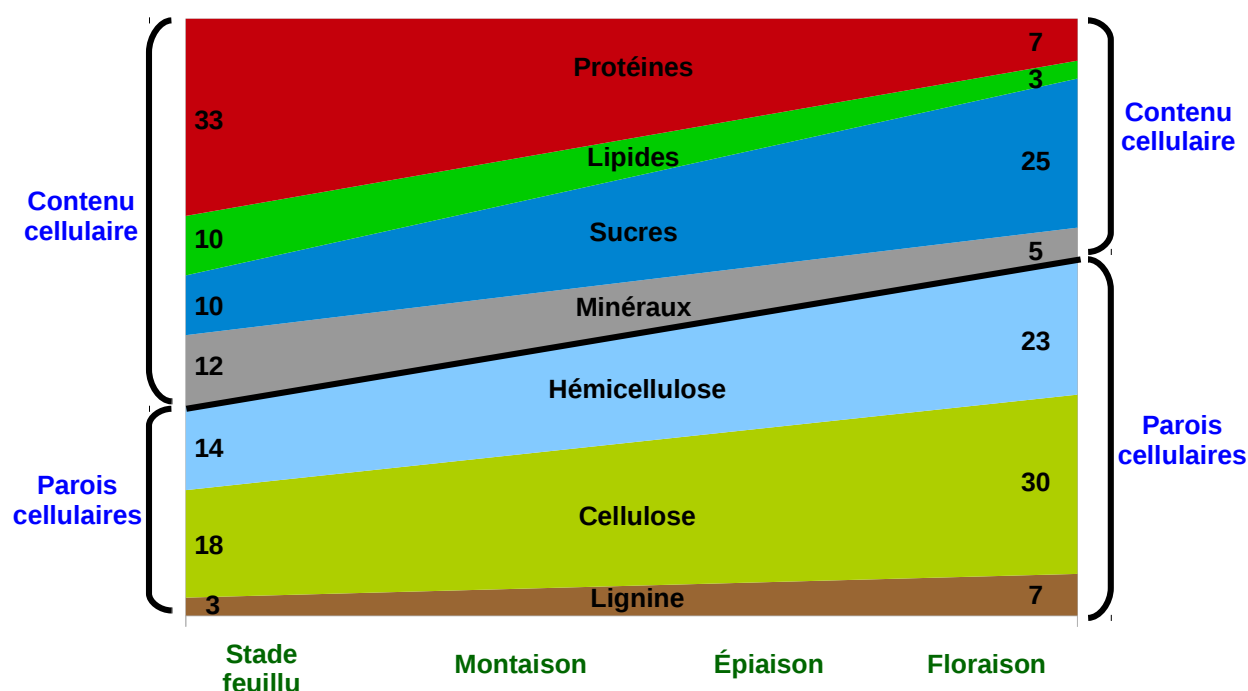
i) Modification du profil en acides gras

Dans les pays tempérés, on estime que l'herbe fraîche contient en moyenne 1 à 3% d'acides gras. Parmi ces derniers, le plus représenté est de loin l'acide linoléique (oméga 3 précurseur du DHA et de l'EPA, tout trois étant fortement bénéfiques pour la santé), puisqu'il représente 50 à 75% des acides gras totaux des grainées prairiales. A noter que cet acide gras

d'intérêt (et ses dérivés) n'est pas synthétisé par le corps et ne peut donc provenir que de l'alimentation. Trois éléments vont fortement impacter les teneurs acides gras d'intérêt : **le stade de pâturage, le type de plante et le type de conditionnement.**

Les teneurs les plus élevées sont observées au cours des stades jeunes de développement et au cours de la repousse de l'herbe, donc au stade feuillu (Bauchart et al., 1984). En revanche dès le début de la montaison, la teneur en oméga 3 diminue au profit des omégas 6 (Boufaïed H. et al., 2003).

La gestion de l'épiaison au début du printemps apparaît donc ici être un élément déterminant, puisqu'elle permet de maintenir l'herbe au stade feuillu, stade optimal d'un point de vue nutritif, en l'occurrence par rapport aux acides gras et aux vitamines, comme on peut le voir sur le schéma suivant :



Représentation schématique de l'effet de la maturité sur la composition d'une graminée fourragère (adaptée de Beever et al., 2000)

De nombreuses études ont montré l'impact d'une alimentation au pâturage par rapport à un régime classique (Scollan et al., 2006 ; Palmquist, 2009 ; Daley et al., 2010), toutes indiquant une proportion d'AGPI en augmentation, en priorité de l'acide linoléique (ALA) mais aussi secondairement de l'EPA et du DHA. Dans chaque cas, le rapport n-6/n-3, supérieur à 5 dans le cas des régimes classiques, tombe largement sous cette valeur.

De plus, deux éléments semblent également améliorer la teneur en omégas 3 de l'herbe, en plus du stade de pâture : les prairies riches en légumineuses et les prairies diversifiées (de type prairie permanente) semblent permettre d'augmenter encore la teneur en omégas 3 (Lourenço, 2007) . A un stade de développement équivalent, les teneurs en omégas 3 ne sont donc pas identiques entre espèces :

		AG totaux (en % MS)			Acide linoléique (% des AG)			Acide linoléique (% des AG)		
Fourrage	Nombre de données	Médiane	Q1	Q3	Médiane	Q1	Q3	Médiane	Q1	Q3
Ray-grass	109	2,31	1,76	2,87	11,8	10,1	13,4	66,2	59,9	72,1
Dactyle	35	1,47	1,13	2,08	16	14,6	17,4	53,5	45,5	57,8
Fléole	19	1,88	1,63	2,08	21,6	19,7	23,2	48	46,1	50,2
Trèfle blanc	19	3,18	2,81	4,38	16,3	13,9	17	47,1	40	55,5
Trèfle violet	11	2,07	1,4	2,19	21,4	19,5	23,1	43	42,5	45
Luzerne	8	1,71	1,61	1,76	21,4	19,4	22,4	39,1	38,5	40,7
Prairies permanentes	31	2,62	2,04	3,5	15,5	12,9	17,4	53,8	48,5	56,4

Teneurs en acides gras totaux, en acide linoléique et en acide linoléique : médianes, 1^{er} et 3^{ème} quintiles, issues d'une compilation de la bibliographie (Glasser et Doreau données non publiées)

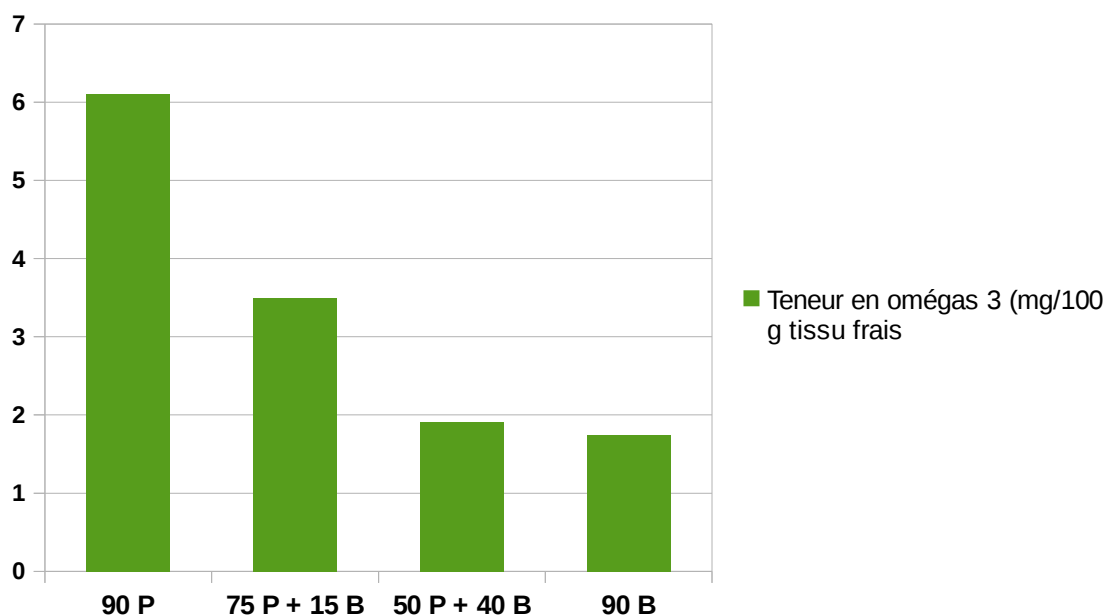
Le tableau précédent semble indiquer qu'en moyenne les graminées sont plus riches en oméga 3, à stade de développement équivalent, que les légumineuses. Pourtant plusieurs études ont démontré l'intérêt du pâturage de prairies intégrant des légumineuses sur les teneurs en oméga 3. De même, plus le régime alimentaire des ruminants est riche en cellulose, plus la flore du rumen est à tendance cellulolytique. Or cette flore est à l'origine d'une biohydrogénation plus intense que la flore amylolytique caractéristique des régimes riches en concentrés.

Il doit donc y avoir un certain contrôle de la biohydrogénation ruminale, dans lequel les légumineuses ont un rôle à jouer. Trois éléments explicatifs peuvent être ici proposés :

- Des acides gras échappent forcément à la biohydrogénation, qui n'est jamais totale. Ainsi, en fournissant un aliment riche en oméga 3, une part d'autant plus importante devrait échapper à l'hydrogénation (Picard et Micol, 2018).
- De nombreuses plantes, et en particulier les légumineuses et certaines plantes de prairies temporaires, sont riches en tanins et en métabolites secondaires (par exemple les saponines ou les polyphénols) qui perturbent le fonctionnement des bactéries, permettant ainsi de limiter la biohydrogénation (Lourenço et al., 2008).
- La majeure partie des lipides de l'herbe sont sous la forme de glycolipides (lipides constituants des parois végétales). Sous cette forme, les lipides semblent échapper plus facilement au processus d'hydrogénation, notamment par rapport à des lipides de graines oléagineuses, où ils sont sous la forme de triglycérides (Givens et Gibbs, 2006).

Ces effets cumulés permettent donc un contrôle de la biohydrogénation ruminale expliquant les teneurs observées malgré la présence d'une flore cellulolytique

Cet effet bénéfique d'une alimentation au pâturage est proportionnel à la durée avec une teneur en oméga 3 augmentant avec le temps de pâturage (Scerra et al., 2011 ; Duckett et al., 2014). A l'inverse, l'apport de céréales pendant la période de finition après une période de pâturage, diminue les effets bénéfiques de la conduite des animaux au pâturage et peut aller jusqu'à supprimer totalement ces effets après seulement 80 jours avec ce dernier type d'alimentation (Ponnampalama et al., 2006) soulignant l'importance de l'alimentation pendant la période de finition sur la composition en acides gras de la viande.



Evolution de la teneur en $\Omega 3$ chez des agneaux en fonction de la conduite de finition (d'après Scerra et al., 2011).

Légende : 75 P + 15 B = 75 jours de pâturage + 15 jours de finition en bergerie aux céréales

La consommation d'herbe au pâturage reste également plus avantageuse puisque un engraissement au **foin ou bien à l'ensilage d'herbe ont un effet moindre sur le profil en acides gras, une partie d'entre eux étant dégradés par le processus de conservation**. La teneur en acides gras est de toute façon largement inférieure à l'herbe pâturée dans le cas du foin, l'herbe étant coupée à un stade où la teneur en acides gras est moindre. Un foin qui aura été **étêté** aura en revanche un effet un peu plus marqué sur le profil en oméga 3 qu'un foin **déprimé**.

Depuis peu, les exigences en termes de qualité nutritionnelle ont poussé au développement d'une **supplémentation des animaux en sources d'acides gras bénéfiques, via notamment des graines d'oléagineux comme le colza et surtout le lin**. L'effet est en revanche moins efficace pour plusieurs raisons :

- cet apport en lipides doit tout d'abord être limité (<60g/kg de MS ingérée) afin d'éviter toute altération du fonctionnement du rumen, pouvant entraîner une baisse de la digestibilité des rations, en sachant que les lipides majoritaires des graines, les triglycérides, sont donc plus facilement hydrogénés (Gruffat, 2018).
- les graines de lin ne peuvent être utilisées dans la ration des animaux sous leur forme intacte, car elles contiennent des composés cyanogènes antinutritionnels et leur enveloppe ne peut être

dégradée par les enzymes digestives des animaux. Les graines doivent donc soumise à des traitements thermiques et/ou mécaniques (aplatissage, extrusion...) afin de permettre leur digestion (Doreau et al., 2009) et à des traitements de protection afin d'éviter la biohydrogénation ruminale. En effet, les oméga 3 des graines de lin sont sous la forme de triglycérides qui sont plus facilement biohydrogénés que les glycolipides de l'herbe. Pour une teneur objectif en oméga 3, il faudrait donc faire des apports de tourteau de lin extrudés plus conséquents.

- si le tourteau de lin extrudé a un effet marqué sur la teneur en acide linoléique, son effet est plus discutable sur les teneurs de ses dérivés comme le DHA ou l'EPA plus en lien avec la durée de l'apport effectué (Bauchart, 2005).

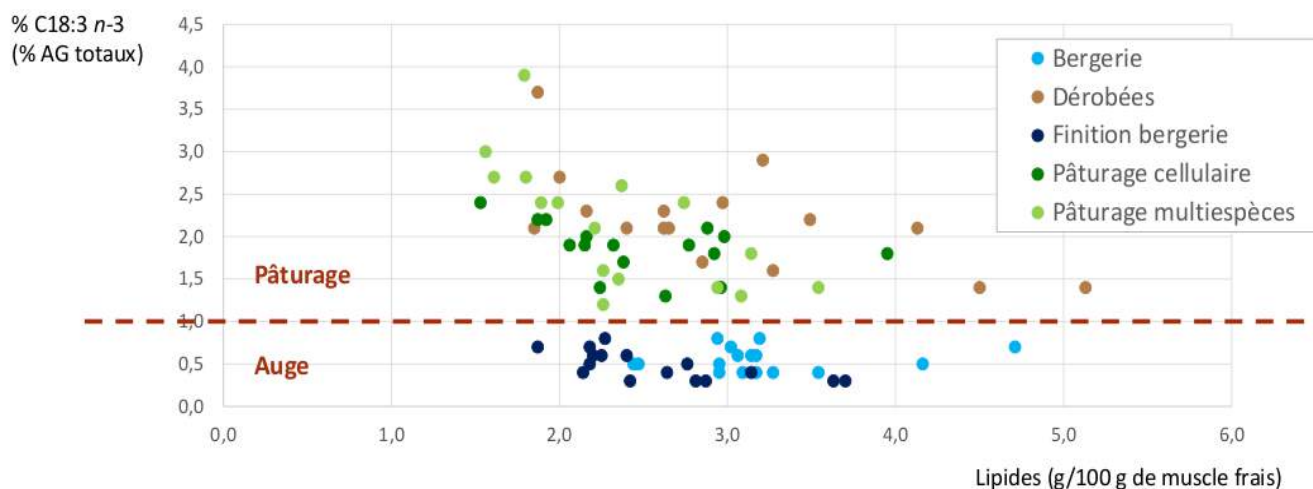
- les oméga 3 sont des molécules très sensibles à l'oxydation (voir la partie sur la stabilité oxydative des viandes) et leur conservation dépend de la présence simultanée d'antioxydants. Si ces derniers sont présents dans l'herbe (par exemple vitamine A, vitamine E, tannins, polyphénols), ils sont absents des graines de lin et doivent donc être rajoutés en plus (en général un mélange de vitamine E et d'extraits de tannins), qui fait encore augmenter le prix de ce travail sur la qualité nutritionnelle des viandes via la complémentation en tourteau d'oléagineux.

STRATEGIE	HERBE	LIN
Origine de la source de lipides	Autoproduite	Autoproduite ou achetée
Forme des lipides	Glycolipides	Triglycérides
Quantité distribuée	A volonté	Rationné (< 60g/kg MS ingérée)
Traitements	/	Thermiques et mécaniques (production de tourteau extrudé)
Acides gras d'intérêt augmentés	Oméga 3 et tous ses dérivés, CLA	Oméga 3 et certains dérivés, CLA ssi durée suffisamment longue
Ajouts adjuvants technologiques	/	Vitamine E et extraits de tannins

Schéma comparatif des deux stratégies d'optimisation de la qualité nutritionnelle des viandes (source : auteur)

Un dernier type d'alimentation peut être utilisé plus spécifiquement dans le cas des productions ovines, la culture de dérobées ou bien intercultures. Semées après la moisson des céréales, elles protègent le sol au cours de l'hiver jusqu'à l'implantation au printemps d'une prairie temporaire ou bien d'une nouvelle culture (maïs, tournesol...). Elles peuvent être pâturées au cours de l'automne ou bien à la sortie de l'hiver, permettant ainsi de finir dans certains cas des agneaux d'herbe dans les cas où les ressources herbagères printanières et estivales ont été insuffisantes. La question est de déterminer l'effet de ce type de finition sur la qualité nutritionnelle de la viande. Les rares études menées jusqu'ici semblent indiquer qu'une finition sur intercultures semble se rapprocher d'une finition au pâturage :

Teneur en C18:3 *n*-3 (noix de côtelette) pour différentes finitions



Profil en omégas 3 d'agneaux issus de différentes finitions

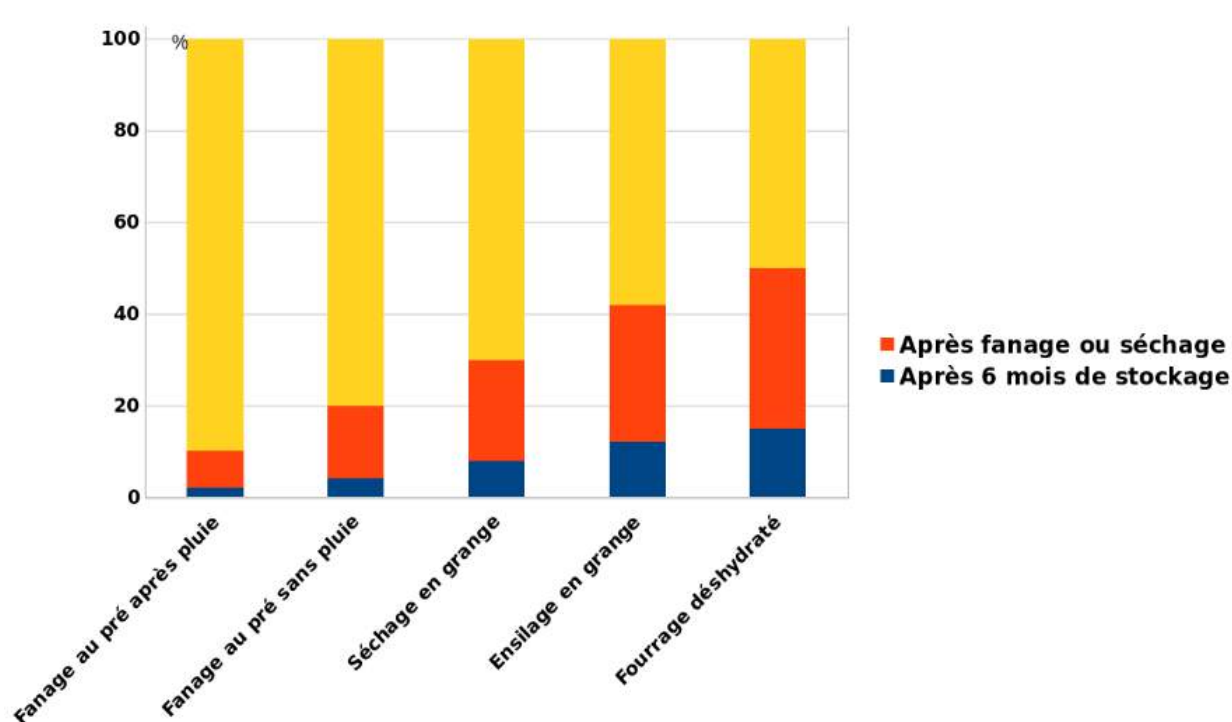
Source graphique : Idele

Note : si les viandes produites en systèmes herbagers sont bien plus riches en omégas 3 que celles produites en système à l'auge (en ration sèche ou ration humide), ces apports restent modestes (moins de 5 % de l'ANC d'après les références fournies par l'ANSES) et on ne peut fonder un régime équilibré en acides gras sur la base de ces produits.

ii) Modification des teneurs en vitamines, antioxydants et minéraux

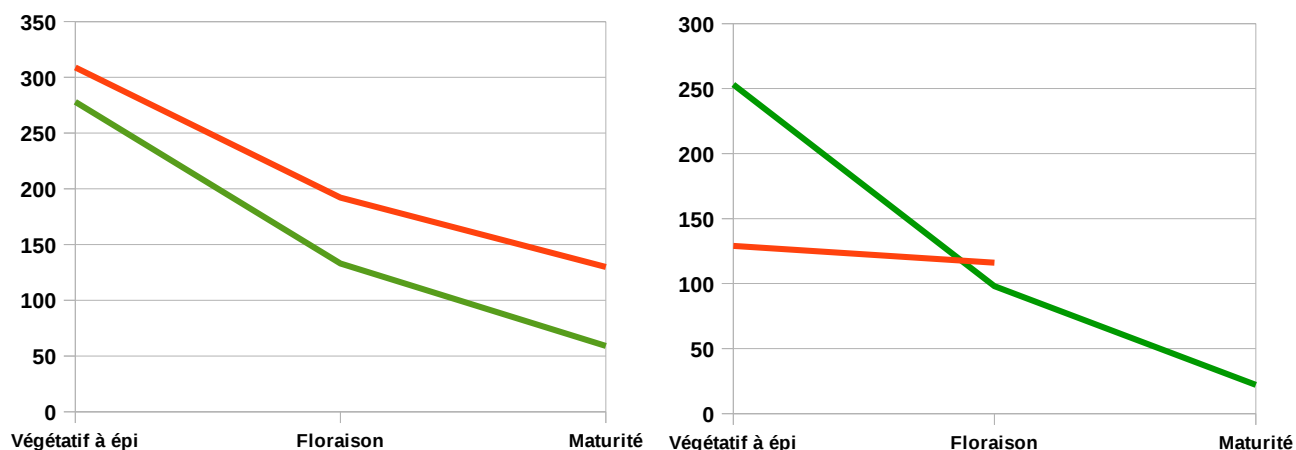
De manière générale, très peu de modifications de la teneur en minéraux sont observées, à l'exception du fer mais qui est plus due à un effet induit du pâturage. Les animaux se déplaçant davantage, on observe une augmentation de la teneur en fibres rouges dans les muscles locomoteurs (Vestergaard et al., 1999), induisant in fine l'augmentation de la teneur en fer héminique des muscles locomoteurs. Les animaux plus âgés et/ou plus précoces présenteront des teneurs en fer héminique plus importantes.

En revanche, les teneurs en vitamines A, B, E et certains antioxydants (au même titre que la vitamine E) sont très largement impactées par l'alimentation. De même que dans le cas des omégas 3, une alimentation au pâturage a un effet positif sur les vitamines A et E, les polyphénols et les tanins (molécules antioxydantes) ainsi que sur certaines vitamines B. Ainsi, l'herbe fraîche est de loin le fourrage le plus riche en termes de caroténoïdes (précurseur de la vitamine A) et de vitamine E, suivie par l'herbe partiellement déshydratée (ensilage ou enrubannage) puis le foin séché en grange, le foin séché au champ et l'ensilage de maïs (Nozière et al., 2006). A noter que l'effet du régime sur les concentrations de vitamines du lait peut être masqué par l'utilisation de suppléments vitaminiques contenant des vitamines A et E (Agabriel et al., 2007). Les carotènes sont en effet photosensibles et sont ainsi fortement dégradés au cours de processus de conservation comme le fanage ou l'ensilage (les vitamines étant mieux conservées dans le second cas).



Disponibilité relative en carotène dans différents foins comparativement à leur teneur initiale (d'après Wolter, 1988)

De manière similaire à la teneur en oméga 3, les teneurs en caroténoïdes et vitamine E sont fortement dépendantes du stade de pâturage, ces valeurs étant à leur maximale lorsque les plantes sont jeunes, et commençant à diminuer à partir du début de la montaison :



Influence du type de plante (graminées en vert, légumineuses en rouge) et du stade de pâturage sur les teneurs moyennes en β catotène (à gauche) et α tocophérol (à droite) de fourrages frais (mg/kg de MS) au cours du premier cycle de croissance (Adapté de Brown, 1953 ; Hjarde et al., 1963 ; Hoffman and Nehring, 1967 ; Aitken and Haikin, 1970 ; NRC, 1989)

On peut voir sur les deux graphiques précédents que si la même tendance est observée dans le cas de l'évolution de la teneur en carotène, la teneur en vitamine E apparaît bien plus stable chez les légumineuses que chez les graminées.

De la même manière que dans le cas des omégas 3, l'effet du pâturage sur les teneurs en vitamines A et E, toutes deux liposolubles, disparaît progressivement si l'animal est rentré en bâtiment pour une finition, avec une disparition totale des caroténoïdes au bout de 2 mois (Prache et al., 2003b). Les polyphénols et les tanins, hydrophiles, ne sont pas stockés dans le tissu adipeux et disparaissent en l'espace de quelques jours. Pour ce qui est des vitamines B, les effets sont différents selon la catégorie : si les teneurs en vitamines B1, B2 et B9 augmentent au pâturage, la teneur en B12 diminue légèrement et semble favorisée par des rations plus énergétiques comme de l'ensilage de maïs (Gregory et al., 1958 ; Duckett et al., 2009).

De la même manière que les omégas 3, les vitamines peuvent être dégradées dans le rumen. Or, que ce soit dans le cas de la vitamine E (Alderson et al., 1971) ou de la vitamine A (Rode et al., 1990 ; Weiss et al., 1995), ces deux nutriments semblent davantage dégradés par une flore microbienne de type amylolytique, donc caractéristique d'un régime à base de céréales.

La finition au pâturage selon les itinéraires d'engraissement précédemment présentés semble donc présenter, d'après ces résultats bibliographiques, d'indéniables atouts objectifs. La maximisation du pâturage dans la ration de finition sur des prairies permanentes diversifiées avec une gestion printanière de l'épiaison permet en effet de :

- **fortement augmenter les teneurs en omégas 3 et ses dérivés. Les CLA sont également favorisés, alors qu'une alimentation à base de céréales, à l'origine d'un pH ruminal bas, détourne la synthèse de ces acides gras conjugués d'intérêt vers des AGT potentiellement néfastes pour la santé**

- **augmentation de la teneur en fer liée au déplacement des animaux**

- **les deux précédentes catégories de molécules, facilement oxydables, sont efficacement protégées par les teneurs elles aussi augmentées en vitamines A et E, deux antioxydants naturels. On observe également des augmentations de synthèse des vitamines B (sauf la B12). Un pH ruminal élevé (en lien avec alimentation à base d'herbe) permet de limiter la dégradation des vitamines dans le rumen.**

Ces effets sont proportionnels à la durée de pâturage et fortement dépendant du régime. Ainsi, la viande d'un animal vendu en fin de printemps n'aura pas du tout les mêmes propriétés qu'un animal vendu en plein hiver. A noter que les effets bénéfiques associés à ce type de finition peuvent être obtenus artificiellement à l'auge par des compléments en vitamines (par exemple via de l'huile de poisson), en omégas 3 (via du tourteau de lin extrudé) ou bien en antioxydants (par exemples en ajoutant des extraits de tanins), mais ils seront alors beaucoup plus coûteux.

IV) Qualités sensorielles (ou organoleptiques) de la viande

Les propriétés sensorielles d'un produit sont liées à toutes les caractéristiques des produits que l'on va percevoir directement grâce aux sens. Chacune des qualités que l'on pourra décrire sera liée aux proportions relatives et variations physico-chimiques propres aux différents

constituants de la viande que sont les fibres musculaires, le tissu conjonctif et le tissu adipeux intramusculaire.

A) Définition des différentes qualités organoleptiques et de leurs déterminants

1) La couleur de la viande

Ce critère est essentiel puisqu'il s'agit du seul qu'un potentiel consommateur pourra percevoir avant de l'acheter.

Le déterminant majeur de la couleur de la viande est la teneur en myoglobine, protéine chargée de l'acheminement de l'oxygène du sang vers les mitochondries où il sera utilisée pour l'oxydation de différents substrats (Renerre, 1990). Cette teneur apparaît donc d'autant plus élevée que le muscle est riche en fibres rouges oxydatives, qui présentent un fonctionnement aérobie (Listrat et al., 2015). Lorsque la myoglobine est chargée en oxygène, elle donne une couleur rouge vif à la viande, qui peut plaire aux consommateurs. Toutefois, au-delà d'un certain délai, le pigment s'oxyde et donne de la metmyoglobine, présentant une couleur brunâtre peu appétissante. La couleur est donc à la fois dépendante de la teneur en myoglobine mais aussi en antioxydants (naturels ou bien ajoutés) qui empêche son oxydation (Durand et al., 2010).

Sur les animaux présentant un développement suffisamment important du gras intramusculaire, les veinures de blanc présentes au sein de la viande modifieront également l'aspect visuel de la viande. De la même manière que la myoglobine, les lipides sont sujets à l'oxydation, les AGPI étant les plus sensibles à ce phénomène, et pouvant conduire à donner un aspect jaunâtre.

Sur les carcasses entières dans les abattoirs, le type de ration ingérée semble également avoir un impact sur la couleur du gras de couverture des bovins, certains auteurs ayant rapporté une pigmentation jaunâtre sur les animaux nourris à l'herbe, en lien avec certains carotènes spécifiques. Les caroténoïdes forment le principal groupe de pigments naturels : la lutéine est le seul stocké dans le tissu adipeux des ovins et caprins, les bovins accumulant également (et surtout) le β -carotène. Leur concentration dans le tissu adipeux est très liée à la quantité de caroténoïdes ingérée par l'animal (Dian et al., 2007b). L'ensilage de maïs est pauvre en ces pigments, et la zéaxanthine, le caroténoïde présent dans les grains de maïs, n'est pas stockée par les tissus des ruminants. La plupart des aliments concentrés sont très pauvres en caroténoïdes. C'est pourquoi ces pigments ont été proposés pour discriminer, sur les produits carnés, une alimentation à l'herbe d'une alimentation à base de concentré et de foin ou à base d'ensilage de maïs (Prache et Thériez, 1999 ; Prache et al., 2002).

Toutefois, cette observation n'est pas systématiquement possible à l'oeil nu chez les bovins, et ce n'est jamais le cas chez les ovins (Prache et al., 2005). Plusieurs effets peuvent d'ailleurs être confondus, comme par exemple la formation d'une couleur jaunâtre plus liée l'oxydation des lipides qu'à la teneur en carotènes.

2) La flaveur

La perception de la flaveur est complexe puisqu'elle implique l'odorat et le goût et est donc formée à partir d'un ensemble de sensations correspondant aux saveurs perçues par les papilles et aux arômes perçus par les récepteurs de la voie rétro-nasale. Elle est

essentiellement liée aux gras des muscles et des substances liposolubles associées. Ces substances évoluent au cours de la conservation et de la cuisson, formant des composés aromatiques à l'origine de la flaveur typique d'une viande (Gattelier et Santé Lhoutellier, 2010).

La flaveur sera donc d'autant plus forte que la teneur en lipides intramusculaires est forte, en sachant que la flaveur augmentera linéairement jusqu'à une teneur en lipides d'environ 10 % pour plafonner ensuite (Picard et Micol, 2018). Il n'apparaît donc pas utile d'atteindre des valeurs plus élevées pour augmenter la flaveur. Cette flaveur caractéristique sera d'autant plus forte que la viande est riche en AGPI (Lebret, Picard et al., 2015) dont la cuisson forme préférentiellement des composés aromatiques d'intérêt. A noter que les AGPI sont stockés de manière préférentielle dans les phospholipides membranaires présents en plus grandes quantités dans les fibres rouges oxydatives, raison pour laquelle ces fibres sont en général associées à des saveurs plus fortes (Gandemer, 1997).

A noter qu'au cours de la maturation de la viande, des composés précurseurs d'arômes peuvent se former à partir de protéines ou bien d'acides nucléiques (les monomères des molécules d'ADN et d'ARN) (Gandemer, 1999).

Certains acides gras spécifiques et composés néoformés dans le rumen peuvent être à l'origine d'une flaveur plus forte voire désagréable qui peut rebuter même des consommateurs avertis. C'est en particulier le cas chez les ovins, en lien avec deux types de molécules particuliers : les AGCR (Acides Gras à Chaînes Ramifiées) qui se forment préférentiellement dans le tissu adipeux sous cutané des petits ruminants et le scatole, issu de la dégradation d'un acide aminé spécifique, le tryptophane (Duncan et al., 1972 ; Bas et al., 1998 ; Berthelot et al., 2001). Si la concentration en scatole augmente fortement le risque de flaveur indésirable, l'interaction entre AGCR et scatole augmentent le phénomène, raison pour laquelle des saveurs désagréables vont se retrouver surtout chez des petits ruminants et peu chez les bovins, qui ne synthétisent presque pas d'AGCR.

3) La jutosité

La jutosité est le produit de deux phénomènes successifs et interconnectés : la libération de l'eau présente dans la viande au cours de la mastication, et la stimulation des glandes salivaires par la quantité de lipides présente dans la viande (Bout et Girard, 1988). Le teneur en lipides apparaît donc influencer doublement la jutosité, puisqu'il a également été prouvé que des viandes riches en lipides étaient généralement moins sèches (Touraille, 1994).

La teneur en eau de la viande va dépendre du pH ultime de la viande, qui dépend du potentiel glycolytique du muscle ainsi que de la vitesse de chute du pH, dépendante de la température à laquelle est exposée la carcasse (Monin, 1988). Si cette dernière est dépendante des conditions d'abattage puis de maturation, le potentiel glycolytique est en revanche dépendant de l'animal.

Ainsi, plus une viande sera initialement riche en glycogène intramusculaire, plus son pH ultime sera bas. Suite à l'abattage, en l'absence d'oxygène qui n'est plus apporté par le sang, la production d'énergie résiduelle se fait sur la base de la glycolyse qui dégrade du glucose en pyruvate. En l'absence d'oxygène, ce dernier est converti en acide lactique, à l'origine de la chute du pH. Une valeur trop basse de ce dernier, c'est-à-dire inférieure au pH isoélectrique des protéines musculaires (aux environs de 5,3-5,5) entraîne une modification de leur charge,

et in fine à la libération de l'eau à laquelle elles étaient associées. La perte d'eau s'accompagne d'une perte de vitamines et minéraux, et donc d'un appauvrissement de la qualité nutritionnelle. A l'inverse, une chute de pH peu conséquente, en lien avec un potentiel glycolytique faible ou bien une activité physique intense peu avant l'abattage (par exemple un stress intense au cours du transport ou bien dans l'abattoir même), sera à l'origine d'une teneur en eau plus élevée, pouvant poser à termes de problèmes de conservation de la viande (l'eau étant un milieu favorable au développement de microorganismes).

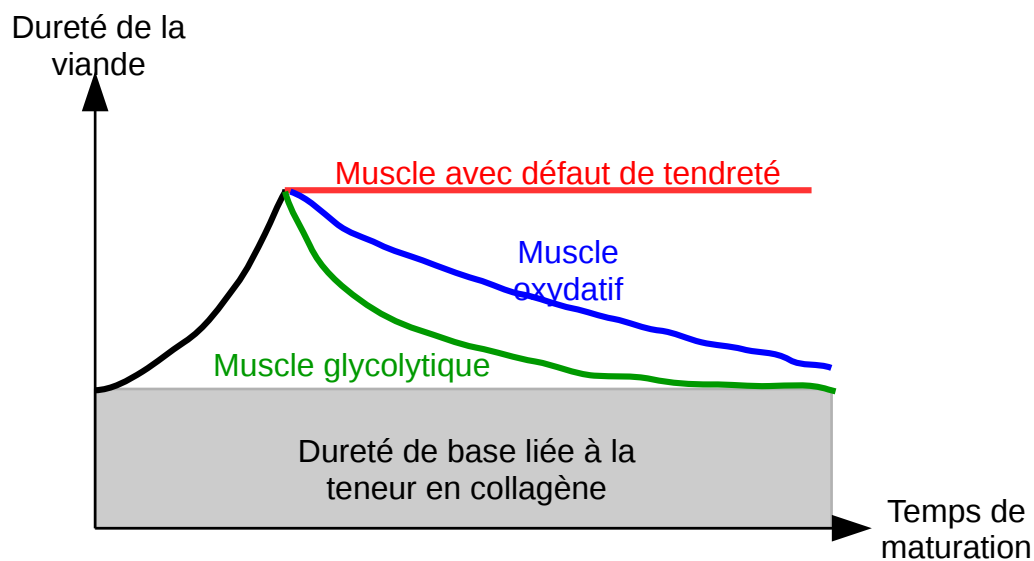
Les fibres rouges oxydatives, avec peu de glycogène intramusculaire, vont donc présenter des pH ultimes plus élevés que les fibres blanches glycolytiques, et seront en général associées à une viande plus juteuse.

4) La tendreté

La tendreté est sûrement le critère de qualité sensorielle le plus important dans le cas de la viande bovine (il est rarement pris en compte dans le cas des agneaux) et est la première mesurée au cours de la mastication (Grunert et al., 2004). Il s'agit également du facteur le plus difficile à maîtriser car dépendant de nombreux facteurs.

La teneur et la solubilité du collagène, molécule principale du tissu conjonctif, sont vraisemblablement les facteurs explicatifs les plus importants. Plus la teneur en collagène est élevée et plus sa solubilité est faible et plus la viande sera dure. A noter que le type de collagène entre en jeu puisque qu'un collagène plus soluble sera davantage altéré au cours de la cuisson de la viande, permettant une amélioration de la tendreté. La teneur totale en collagène d'un muscle constitue ce que l'on appelle la dureté de base, indépendante de la phase de maturation.

Le type de fibre musculaire va également être ici primordial, mais cela est davantage en lien avec ses propriétés métaboliques plutôt que par ses caractéristiques biologiques. Toutefois, différentes études ont montré que la tendreté peut dépendre de la taille des fibres, de plus petites fibres étant à l'origine de davantage de tendreté mais uniquement dans certains muscles (Hocquette et al., 2018). Il convient toutefois de rappeler que si les fibres rouges ont en général un plus petit diamètre, cette règle n'est pas absolue et dépendant fortement du type de muscle considéré (Listrat et al., 2015). Le facteur principal reste toutefois le type métabolique. Ainsi, une fibre blanche présente un pH ultime plus bas, en lien avec son potentiel glycolytique plus élevé. Or c'est justement un pH bas qui va permettre une altération optimale des complexes protéiques, permettant ainsi un assouplissement de la viande. Ainsi, des viandes à fibres blanches seront, à temps de maturation égal, plus tendres. Toutefois, si le temps de maturation est adapté, il ne devrait y avoir en théorie pas de différence de tendreté.



Un dernier facteur à prendre en compte est la teneur en lipides intramusculaires. Plus la teneur est élevée et plus la viande aura tendance à être tendre. Cela est lié à la présence des adipocytes intramusculaires, qui induisent une rupture dans la structure de la viande. Une couche de gras sous cutanée suffisamment développée est également nécessaire pour assurer une tendreté suffisante : en son absence, ou bien si elle est insuffisamment développée, le risque de contracture au cours de la phase de conservation au froid augmente.

Le lien entre les différents tissus et constituants de la viande avec les qualités organoleptiques peut être résumé dans le tableau suivant :

Critère	Tissu impliqué	Caractéristique du tissu impliqué
Couleur	Tissu musculaire	Teneur en fer et degré d'oxydation
	Tissu adipeux	Teneur en LIM et degré oxydation
Jutosité	Tissu musculaire	Type de fibre et teneur en glycogène
	Tissu adipeux	pH ultime de la viande Teneur en LIM
Flaveur	Tissu adipeux	Teneur et proportions relatives en AGPI Teneur en LIM (avec effet plateau)
	Tissu musculaire	Teneur en certaines protéines
Tendreté	Tissu conjonctif	Degré de réticulation du collagène (solubilité)
	Tissu musculaire	Type de fibre et lien avec maturation
	Tissu adipeux	Gras de couverture suffisant pour éviter la contracture au froid + LIM

B) Lien entre facteurs d'élevage et qualités organoleptiques des viandes

1) Effet du type d'animal

Pour rappel, quand un animal vieillit (les processus décrits se faisant d'autant plus rapidement que l'animal sera précoce, caractère dépendant de sa race et de son sexe), plus ses muscles contiendront de fibres rouges et plus il sera gras, avec notamment du gras persillé. Donc plus un animal sera âgé et précoce, plus il aura tendance à présenter une viande à la couleur rouge marquée, avec une flaveur forte et une bonne jutosité, avec malgré tout une certaine diminution de la tendreté. La tendreté évolue de manière défavorable plus rapidement chez les mâles que les femelles, et ces dernières présenteront plus vite une viande juteuse et odorante. Tous ces phénomènes sont donc chapeautés par la précocité, avec tous les phénomènes précédemment décrits se réalisant d'autant plus vite que l'animal est d'une race précoce. Les bœufs et moutons (agneaux mâles castrés) se comportent de manière intermédiaire.

2) Influence de l'alimentation

Les effets relatifs à l'alimentation sur les qualités organoleptiques des viandes sont souvent confondus puisqu'ils combinent la nature de la ration et le niveau énergétique de la ration et parfois les conditions d'élevages associées (qui sera traité dans une troisième partie). On s'attachera à faire la part des choses dans chacun des cas.

i) Couleur

Les animaux élevés à l'herbe présentent le plus souvent une viande plus rouge. Deux facteurs peuvent ici l'expliquer, tous deux ayant déjà été évoqués plus haut. Les animaux au pâturage ont tendance à avoir une viande plus rouge du fait d'un développement plus important de fibres rouges dans les muscles locomoteurs (Vestergaard et al., 1999). Cette couleur est également plus éclatante et plus marquée du fait d'une teneur du muscle en antioxydants comme par exemple la vitamine E, dont l'action antioxydante stabilise la couleur (Durand et al., 2005).

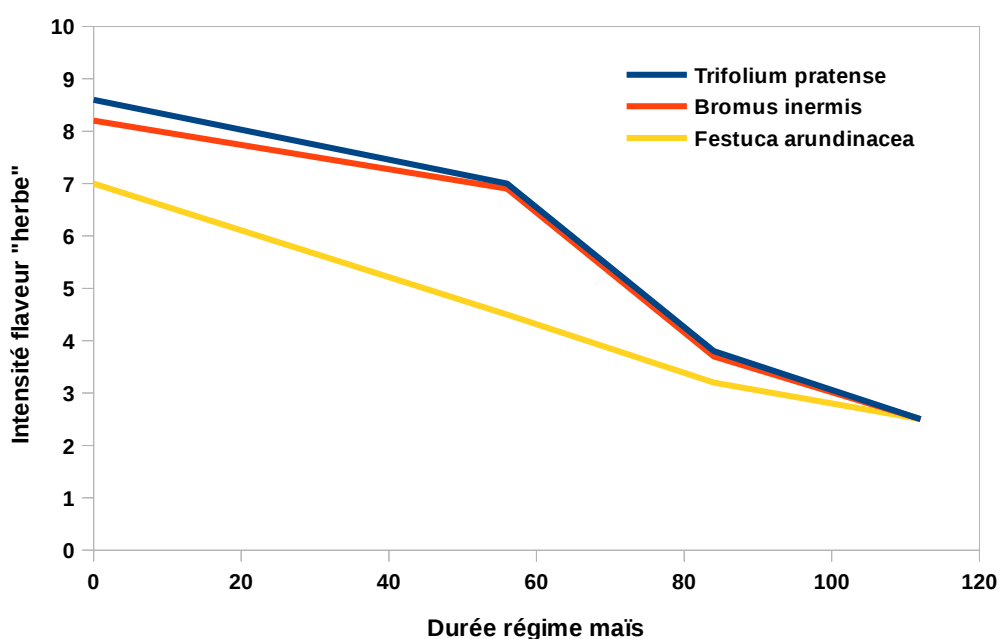
Chez les bovins, la couleur du gras de couverture de la carcasse peut varier du blanc nacré au jaune soutenu. La couleur jaune des gras traduit essentiellement une alimentation à base d'herbes, matières premières riches en pigments (β carotène) qui sont transférés dans les tissus gras. Ce critère n'est pas pris en compte pour la rémunération des éleveurs mais peut constituer un moyen de communication du boucher sur une alimentation « naturelle » à base d'herbe.

Chez les ovins, les défauts de couleur de gras de couverture sont liés de manière détournée à l'alimentation. Les défauts de couleur, allant du jaunâtre au brun rouge, ne sont pas liés la concentration de pigments, mais à des produits d'oxydations d'AGPI et à une fragilisation des membranes des globules rouges (Prache et al., 2007).

ii) Flaveur

La flaveur va être liée à des facteurs différents selon le type d'animal. Si la nature de la ration joue un rôle central aussi bien chez les ovins que les bovins, l'équilibre de la ration entre énergie et azote rentrera également en ligne de compte notamment dans le cas des ovins.

En effet, comme rappelé plus haut, la flaveur dépend en priorité de la formation de composés aromatiques, principalement issus des AGPI présents dans les viandes. Ainsi, des animaux mêmes un peu plus maigres mais présentant des teneurs en AGPI plus importantes auront tendance à présenter une flaveur plus marquée. De la même manière que le profil en acides gras se modifie suite à la rentrée en stabulation d'un animal au préalable élevé à l'herbe, la flaveur se modifiera à un rythme sensiblement identique à celui du profil en acides gras : l'effet de rémanence est d'environ 3 mois (Melton et al., 1982 ; Larick et al., 1987).



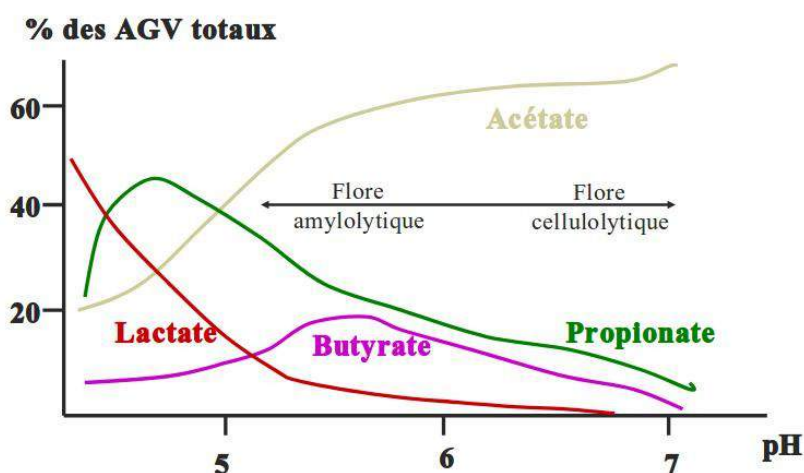
Intensité et rémanence de la flaveur « herbe » de la viande bovine selon la nature de l'herbe pâturée et la durée de l'alimentation à base de concentrés (j) (d'après Larick et al., 1987)

L'effet de la nature de la ration sur la flaveur sera d'autant plus marqué que les muscles sont oxydatifs, leur composition en lipides y étant plus sensibles (davantage de phospholipides stockant préférentiellement des AGPI). Si une légère lipopéroxydation des AGPI permet de donner à la viande certains arômes, une oxydation trop poussée conduira au dégagement d'odeur malodorante, d'où l'objectif de contrôle de ce phénomène.

Pour le cas des ovins, deux mécanismes spécifiques entre ici en jeu, complexifiant la tâche des éleveurs. On peut différencier deux types de flaveur, chacune mettant en jeu des molécules spécifiques.

La flaveur ovine est liée à des acides gras à chaîne ramifiée (AGCR) de taille moyenne, notamment le 4-méthyl-octanoïque, le 4-méthyl-nonanoïque et les analogues de 4-éthyl qui sont

présents dans les triglycérides du gras (Wong et al., 1975). Quand des animaux du même âge sont comparés, la concentration en AGCR est plus importante chez des animaux nourris avec des concentrés que des animaux nourris au pâturage (Young et al., 2003). La haute concentration en AGCR dans le tissu adipeux est une caractéristique propre aux ovins et caprins (Wong et al., 1975). Ils sont formés à partir de méthylmalonate, lui-même issu du métabolisme du propionate dans le foie et autres tissus (Garton et al., 1972 ; Berthelot et al., 2002). Les AGCR se forment préférentiellement dans le cadre d'une alimentation basée sur les céréales plutôt que sur le pâturage, en lien avec une concentration de propionate supérieure dans le rumen (Duncan et Garton., 1978) :



Source graphique : Soltner, 1988

Comme on peut le voir sur le graphique, plus le pH est bas et plus la part du propionate dans les AGV disponibles dans le sang sera élevée. Comme une alimentation riche en énergie est à l'origine d'une chute du pH du rumen, elle sera donc à l'origine de la formation d'AGCR et donc de la flaveur ovine caractéristique.

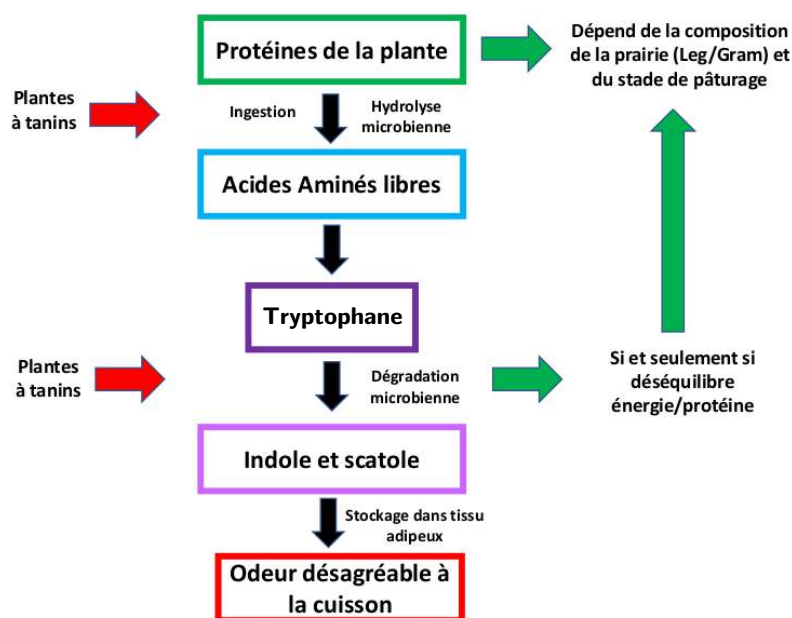
La seconde flaveur dite « pastorale » est liée à deux molécules : l'indole et le scatole. Ces deux composés sont formés dans le rumen suite à la désamination microbienne et décarboxylation de l'acide aminé tryptophane (Deslandes et al., 2001 ; Tavendale et al., 2005). Ils sont formés lorsque les rations sont déséquilibrées, avec une trop forte proportion de protéines par rapport à l'énergie. En l'absence d'énergie suffisante pour utiliser le tryptophane, les microorganismes dégradent cet acide aminé, à l'origine de la formation des deux composés odorants.

Le scatole, s'il contribue à donner une odeur désirable à la viande lorsqu'il est présent en faible quantité (Peterson et Reineccius, 2003) est à l'origine d'une odeur nauséabonde et fécale lorsque sa concentration devient trop importante. Le gras d'agneaux à l'herbe montre une plus grande concentration en scatole (3 méthylindole), et les échantillons de viande associés une flaveur pastorale plus prononcée, que des animaux nourris aux céréales (Rousset-Akrim et al., 1997 ; Young et al., 1997).

On observe des différences marquées selon le type de fourrage ingéré et/ou de prairie pâturée. Ces différences sont liées à la concentration en protéines crues de la plante, à la solubilité dans le rumen et à la dégradation des protéines (Schreurs et al., 2007b ; 2007c). Ainsi, il a été démontré que l'alimentation à base de trèfle blanc est à l'origine d'une importante formation

d'indole et de scatole (Schreurs et al., 2007a, c) par rapport à du ray-grass anglais et d'autres fourrages et cela serait entre autres liés à la rapide solubilisation et dégradation des protéines (Schreurs et al., 2007b, c). Des facteurs comme la maturité du fourrage et l'utilisation de fertilisant azoté altèrent également la concentration de protéines de la plante, la solubilisation et la dégradation de la protéine dans le rumen et donc ainsi la propension à former de l'indole et du scatole. Ainsi, une plus grande maturité d'un fourrage permet de diminuer la formation de ces composés du fait de la réduction de la concentration en protéines et leur dégradation. De plus, une plus grande application d'azote sur les prairies de ray-grass anglais augmente la teneur en protéines crues et il en résulte une formation accrue de scatole (Schreurs et al, 2007b).

Par conséquent, le ralentissement de la dégradation des plantes dans le rumen permettrait de réduire la formation de la flaveur pastorale en synchronisant la disponibilité des précurseurs des glucides et la dégradation des protéines dans le rumen pour la synthèse protéique microbienne. Les tannins condensés forment des complexes insolubles avec les protéines des plantes et ainsi ralentissent leur dégradation dans le rumen (Barry et Manley, 1986 ; Min et al., 2003).



Schématisation de la formation d'indole et scatole et les facteurs influençant leur formation (réalisation : auteur)

NB : Dans le cas des deux flaveurs ovines, il semble que les mâles présentent, à alimentation identique, des concentrations supérieures en AGCR, indole et scatole, à l'origine d'une flaveur défavorable plus accentuée chez le mâle que chez la femelle. La castration permet de passer outre ce problème dans la plupart des cas.

On observe également une interaction entre AGCR et scatole, qui peuvent accentuer le phénomène de flaveur désagréable liée au scatole. Une concentration faible d'AGCR suffit à accentuer le phénomène, que l'on trouvera surtout chez les agneaux d'herbe que chez les agneaux de bergerie, qui ne présentent quasiment pas de scatole (Young et al., 1997).

iii) Jutosité et tendreté

Ces deux facteurs sont ici traités ensemble car dépendent du même facteur, la teneur en lipides, qui est ici essentiellement fonction du niveau énergétique de la ration. La modification du type de fibres musculaires, dont dépendent également jutosité et tendreté, est davantage modifiée par des facteurs intrinsèques à l'animal que par la ration. Reste donc comme déterminant pour la tendreté et la jutosité le niveau de lipides intramusculaires. A noter que ces deux facteurs de qualité sensorielle ne dépendent malgré tout qu'à la marge des facteurs alimentaires, les caractéristiques de l'animal étant ici déterminantes.

Le niveau de lipides intramusculaires est corrélé à la densité énergétique de la ration, ainsi qu'à la durée de la phase de finition de l'animal. Par exemple, en comparant différentes races bovines, chacune séparée en deux lots avec des GMQ de respectivement 600g/j et 1000g/j, on observe une amélioration de la tendreté chez les animaux avec un GMQ plus important, avec un effet d'autant plus marqué que la durée de finition est longue. Dans le cas des bovins, il semble donc exister un risque supérieur d'obtenir des viandes de moindre tendreté lorsque, pour un âge à l'abattage donné, le gain de poids vif durant toute la vie diminue (Oury et al., 2007).

Chez les agneaux, l'augmentation de l'adiposité de la carcasse et du muscle des agneaux liée à l'augmentation du niveau alimentaire par l'utilisation d'aliments concentrés augmente la tendreté de la viande (Priolo et al., 2002). Cette relation entre adiposité et tendreté n'est toutefois pas toujours observée (Hoffman et al., 2003). Les agneaux de bergerie nourris aux concentrés seraient plus tendres que les agneaux élevés à l'herbe en raison de l'état d'engraissement des agneaux (Priolo et al., 2002).

La jutosité est améliorée, aussi bien chez les bovins que les ovins, que lorsque les animaux sont correctement finis. Dépendante de la teneur en lipides intramusculaires et donc à la fois du niveau énergétique et de la durée de finition, les animaux finis en stabulation ou en bergerie présentent généralement une viande plus juteuse que des animaux finis au pâturage (Priolo et al., 2002).

Chez les deux espèces, un développement suffisant du gras de couverture (sous cutané) ou intermusculaire (marbré) est nécessaire pour préserver la tendreté de la viande. Ces deux tissus adipeux vont en effet jouer le rôle d'isolant thermique au cours de la réfrigération des muscles et de la carcasse. S'ils ne sont pas suffisamment développés, les risques de contractures au froid liées à une réfrigération trop rapide et intense de la carcasse. Ces contractures provoquent une altération irréversible de la tendreté, dont le seul attendrissage ultérieur possible sera mécanique.

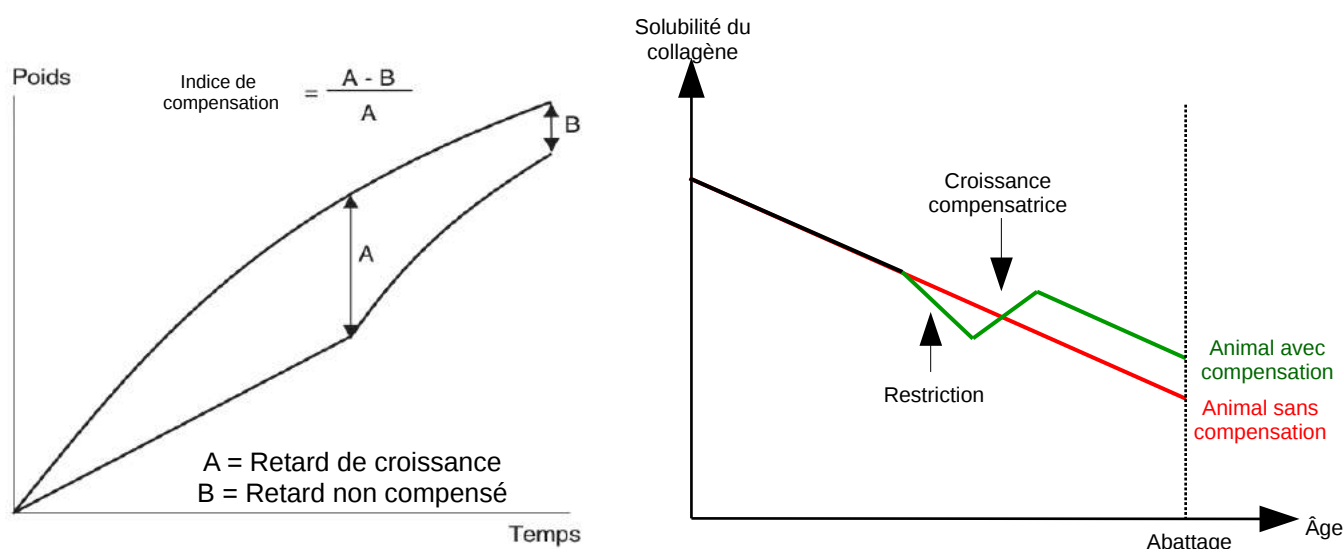
3) Influence du type d'élevage

L'influence du mode d'élevage va ici essentiellement concerner les différences observées entre les animaux élevés en plein air et les animaux élevés en stabulation, ces derniers ayant une alimentation systématiquement en adéquation avec leurs besoins, tandis que les animaux élevés en plein air doivent compenser les variations annuelles de disponibilité en ressources fourragères. Au cours des périodes d'étiage fourrager, par exemple l'hiver, les ruminants vont présenter une croissance bien moins importante que ceux en bâtiment, mais rattraperont partiellement ou totalement leur retard au printemps, grâce au phénomène de croissance

compensatrice (Hoch et al., 2003). Ainsi, la restriction alimentaire et la croissance compensatrice ont des effets marqués sur la qualité sensorielle de la viande. Le processus de compensation, est réalisé aussi bien chez les ovins que les bovins, en sachant que les ovins ont cette capacité lorsqu'ils ont un âge compris entre 3 et 9 mois (Reardon et Lambourne, 1966). Si la période de restriction intervient trop tôt, alors que la croissance osseuse et musculaire est prépondérante, aura un effet négatif sur la croissance ultérieure. Au-delà d'un certain âge, les animaux ne compensent plus.

Au cours d'une phase de restriction, on observe le plus souvent une diminution de la taille du diamètre des fibres musculaires et une orientation marquée vers le type rouge oxydatif (Picard et al., 1995). La proportion de tissu conjonctif a tendance à s'accroître et la solubilité à diminuer (Fischell et al., 1985). En outre, la réduction du niveau alimentaire s'accompagne d'une réduction de l'adiposité de la carcasse et du muscle, les graisses servant tant avant tout à stocker de l'énergie pour compenser les périodes de moindre disponibilité, ce qui peut provoquer une baisse de la tendreté en lien avec un risque de contracture au froid plus marqué. Ainsi, globalement, une période de restriction énergétique avant l'abattage apparaît préjudiciable pour la qualité de la viande. Il est important de préciser que tous les tissus adipeux ne réagissent pas de la même manière à un phénomène de restriction. Ainsi, si un animal est restreint, le tissu adipeux sous cutané sera utilisé bien avant le tissu gras intramusculaire, qui est donc le tissu adipeux se formant le dernier mais aussi le plus stable. Ainsi, un animal peut sortir d'une phase de restriction avec moins de tissu adipeux sous cutané mais avec la même quantité de gras intramusculaire qu'auparavant (Bonnet et al., 2007).

A l'inverse, au cours de la phase de compensation consécutive à la phase de restriction, la taille des fibres augmente, en restant toutefois à terme inférieure à celle d'animaux à croissance continue. Le métabolisme des fibres est dans ce cas là à tendance glycolytique et on observe une néosynthèse de collagène jeune et de solubilité plus élevée, voire de nature différente. Suite à une compensation, le degré de réticulation, et donc la solubilité globale du collagène, se stabilisera à un niveau supérieur à la phase de restriction-compensation :



Schématisation de la croissance compensatrice en terme de poids (source : Hornick et al., 2000) et d'évolution de la solubilité du collagène (réalisation : auteur)

On observe même dans certains cas un dépôt supplémentaire de lipides intramusculaires, et cela tant dans les fibres rouges que dans les fibres blanches. Ces modifications permettent ainsi une amélioration de la tendreté de la viande (Hoch et al., 2003). En moyenne, des animaux compensés auront tendance à être plus maigres que des animaux à croissance continue.

La finition au pâturage va donc avoir des effets marqués sur les différentes qualités organoleptiques, pouvant ou pas plaire aux consommateurs, puisqu'il s'agit ici des critères plutôt subjectifs. On peut identifier les caractéristiques suivantes :

- du fait d'animaux en général plus âgés, en mouvement tout au long de leur durée d'engraissement et finition, la viande aura tendance à être d'un rouge soutenu. La présence d'antioxydants ingérés par les animaux permet une meilleure stabilisation de la viande, limitant jusqu'à un certain point les phénomènes d'oxydation du fer (à l'origine du viande brunâtre) et des AGPI (à l'origine d'une viande jaunâtre).

- l'alimentation à base d'herbe pâturée au stade optimal du point de vue de la richesse en omégas 3 est à l'origine d'une flaveur pastorale marquée, qui le sera d'autant plus que l'animal a une viande riche en fibres rouges, à l'origine d'un stockage plus important de ces AGPI. L'âge plus élevé des animaux est également favorable au dépôt des lipides intramusculaires qui jouent un rôle important dans la détermination de la flaveur.

- Une viande plus riche en fibres rouges et avec davantage de lipides intramusculaires sera également favorable à la jutosité de la viande, les premières ayant une meilleure capacité de rétention et les seconds stimulant activement les glandes salivaires à l'origine de la sensation de jutosité. A noter que la meilleure rétention d'eau a un effet positif sur la qualité nutritionnelle des viandes, car les pertes en eau s'accompagnent le plus souvent de pertes de nutriments.

- les viandes riches en fibres rouges sont en général moins tendres que les viandes riches en fibres blanches, en raison de leur diamètre (en moyenne inférieur à celui des fibres blanches) et à une maturation moins efficace (en lien avec la chute du pH). Toutefois, une durée de maturation plus longue permet de compenser ce problème. Le collagène est l'une des principaux déterminants de la tendreté et il devient plus dur avec l'âge, à l'origine de la diminution de la tendreté. Ce phénomène peut toutefois être compensé par les phénomènes de restriction/compensation et par une maturation plus longue semble-t-il. Le dépôt de lipides intramusculaires, qui intervient tardivement dans le développement de l'animal, permet lui une amélioration de la tendreté.

V) Qualité sanitaire

A) Définition

La qualité sanitaire fait ici référence à la présence dans la viande de microorganismes ou molécules potentiellement néfastes pour la santé humaine. Si cette partie est ici uniquement consacrée à la contamination par des microorganismes pathogènes, c'est par ce que les processus d'oxydation seront approfondis dans la partie suivante consacrée au stress oxydatif,

qui impacte simultanément les qualités non seulement sanitaires mais aussi nutritionnelles et organoleptiques des viandes.

Si le développement de bactéries est favorisé dans des viandes présentant une forte teneur en eau, donc pour les viandes rouges et riches en lipides, il semblerait que la majeure partie des contaminations soient davantage liées à l'alimentation et aux conditions d'élevages (stress, concentration des animaux, maladies, infections...) qu'à des propriétés intrinsèques de la viande. La qualité sanitaire va forcément avoir un effet sur la qualité nutritionnelle de la viande, les infections et parasites étant à l'origine d'un stress inflammatoire, et donc de la dégradation d'une partie des nutriments.

B) Lien entre facteurs d'élevage et qualité sanitaire des viandes

1) Impact du mode de conduite

Les données disponibles concernent essentiellement des expérimentations réalisées dans des feed lots américains. Par exemple, une comparaison d'animaux issus d'élevages intensifs ou extensifs et biologiques a été réalisée par Reinstein et al. (2009), révélant que si des souches potentiellement pathogènes ont été retrouvés dans tous les types d'élevage, leur portage reste favorisé par la conduite en feed lot, où la concentration du bétail est très élevée.

Différents stress subis par les animaux semblent également impacter la qualité sanitaire des produits, même si les mécanismes restent pour l'instant peu connus (Rostagno, 2009). Ainsi, le stress pourrait induire une augmentation du portage animal des microbes pathogènes, certaines hormones de stress comme les catécholamines ayant montré in vitro un effet direct sur la croissance des bactéries pathogènes (Freestone et al., 2007).

2) Effet de l'alimentation

Les effets de l'alimentation sur le portage des souches de bactéries pathogènes ont été relativement bien étudié aux Etats Unis, mais les résultats obtenus laissent pour l'instant de nombreuses questions sans réponses.

Le sevrage apparaît comme une étape critique pour ce qui concerne le portage de STEC chez le veau. Ainsi, un sevrage sans transition a été associé à une plus forte prévalence de certaines souches chez le veau (Herriott et al., 1998). Il est possible toutefois que cela soit plus lié au stress qu'à la ration alimentaire stricto sensu.

Il est en revanche le plus souvent admis que les troupeaux nourris au foin portent moins de souches pathogènes que ceux nourris aux grains (Callaway et al., 2009), en sachant qu'aux Etats Unis, les bovins en finition dans des feed lots sont le plus souvent nourris avec des rations riches en grain (maïs) afin d'optimiser les performances de l'animal. Une étude avait montré que des bovins nourris avec des rations de type feed lots (90% maïs/soja) hébergeait 1000 fois plus d'*E. coli* que des bovins nourris avec 100% de foin de bonne qualité de type fléole (Diez-Gonzalez et al., 1998). Par ailleurs, une ration riche en grain semble non seulement favoriser la survie des STEC dans le tube digestif, mais aussi permettre l'émergence de STEC « acido-résistantes » susceptibles de mieux coloniser ultérieurement un hôte animal ou humain (Chaucheyras-Durand et al., 2010).

L'effet de la nature de l'aliment a apparemment également une influence, un régime à base de foin en finition ayant eu des effets différents selon la nature du foin, un mauvais fourrage augmentant l'excrétion des *E. coli* (Callaway et al., 2009). D'autres expérimentations doivent néanmoins être faites pour confirmer ces résultats.

La gestion du chargement propre aux systèmes herbagers, la limitation du surpâturage et la finition en plein air à base d'herbe pâturée et parfois de foin apparaissent ici comme des éléments permettant de limiter les risques sanitaires liées à la contamination par les microorganismes. Toutefois, le stress des animaux apparaît comme un élément facilitateur du développement des souches pathogènes, et le risque sanitaire est également lié à la formation des composés carcinogènes néfastes pour la santé, d'où la nécessaire étude des effets du stress oxydatif.

VI) Stabilité oxydative des viandes

A) Déterminants du stress oxydatif

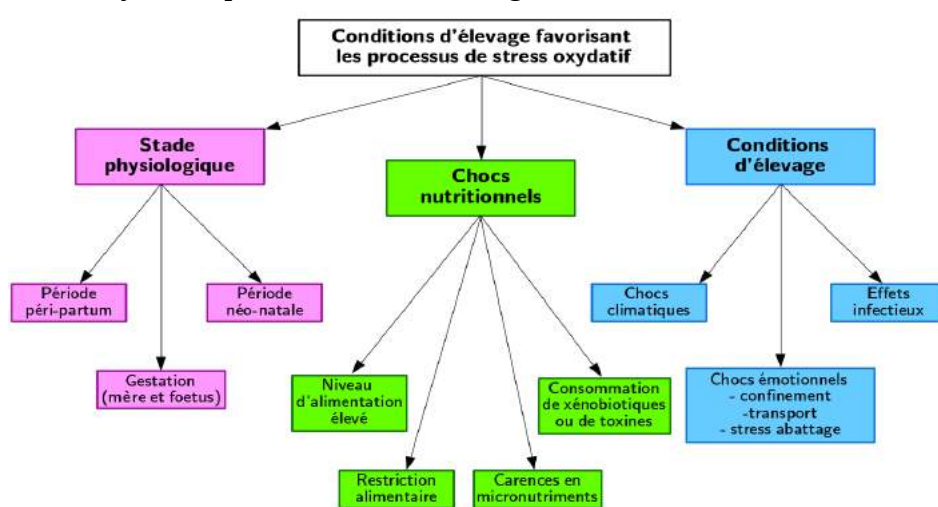
1) Définition

Les radicaux libres sont des espèces chimiques disposant d'un ou de plusieurs électrons non appariés. Cette caractéristique rend ces espèces hautement réactives, susceptibles de dégrader d'autres molécules comme des nutriments d'intérêts. La formation de ces composés est inévitable au sein de l'organisme. Le phénomène peut pourtant être exacerbé par de nombreuses agressions extérieures que le corps subit.

Leurs antagonistes, les antioxydants, proviennent de l'alimentation ou bien sont synthétisés par le corps. Lorsqu'il y a un excédent de radicaux libres par rapport aux antioxydants, il se crée un stress oxydatif, à l'origine de la dégradation de certaines molécules. Il concerne dans la viande en priorité les lipides insaturés, mais peut concerner les protéines, et notamment les acides aminés essentiels, et certains minéraux comme le fer héminique.

2) Origines du stress oxydatif

Les processus d'oxydation peuvent avoir trois origines :



(réalisation : auteur, adapté de Aurousseau et al., 2002)

L'une des données clés essentielle pour évaluer le potentiel oxydant d'une viande et peu explicitée dans le précédent schéma est la teneur en antioxydants. Ils sont de différentes origines (endogènes, c'est à dire synthétisés par l'organisme, et exogènes donc provenant de l'alimentation) et de différentes natures :

- hydrophiles (comme les tanins, les polyphénols, les isoflavones, la vitamine C...) agissant directement sur les molécules oxydantes en les captant

- lipophiles (comme la vitamines E, différents caroténoïdes...) agissant dans les membranes en protégeant les lipides. Leurs actions sont donc complémentaires.

Les modes de conduite et le type d'alimentation des animaux auront donc un effet essentiel sur la stabilité oxydative des viandes, qui impactera indirectement les qualités nutritionnelles et organoleptiques des viandes en dégradant les molécules d'intérêt.

3) Effets du stress oxydatif

Elle va entraîner la dégradation de certains de ces nutriments d'intérêt, diminuant par la même occasion la valeur nutritive de la viande, voire conduire à la formation de nouveaux composés néfastes pour la santé :

- la dégradation des lipides insaturés peut entraîner la formation d'alcanes, d'aldéhydes et de différents radicaux dangereux pour la santé
- la dégradation du fer héminique peut entraîner la formation de metmyoglobine, qui semble être l'un des facteurs pouvant conduire au développement de cancers colorectaux.

Dans le cas de la conservation réfrigérée des viandes, le stress oxydatif reste modéré, la production de radicaux étant partiellement contrôlée par la protection anti-oxydante du muscle (enzymes et vitamines antioxydantes) (Gatellier et al., 2004). C'est pourquoi, à la conservation, seuls certains acides aminés particulièrement sensibles aux radicaux pourront être oxydés. On peut en distinguer trois catégories :

- Les acides aminés basiques, c'est à dire les acides aminés ayant une fonction amine (lysine, histidine, arginine). L'oxydation de ces acides aminés conduit à la production de groupements carbonyles. Ces derniers peuvent réagir avec des groupements amines libres de la lysine pour donner des liaisons amides (Morzel et al., 2006). Ces liaisons amides sont impliquées dans les phénomènes de pontage des chaînes peptidiques pouvant conduire à l'agrégation des protéines (Promeyrat et al., 2010a ; Santé-Lhoutellier et al., 2008a), l'agrégation entraînant une perte de digestibilité de certains acides aminés (Gatellier et Santé-Lhoutellier, 2009 ; Santé-Lhoutellier et al., 2008a ; 2008b), et donc de la valeur nutritive de la viande.

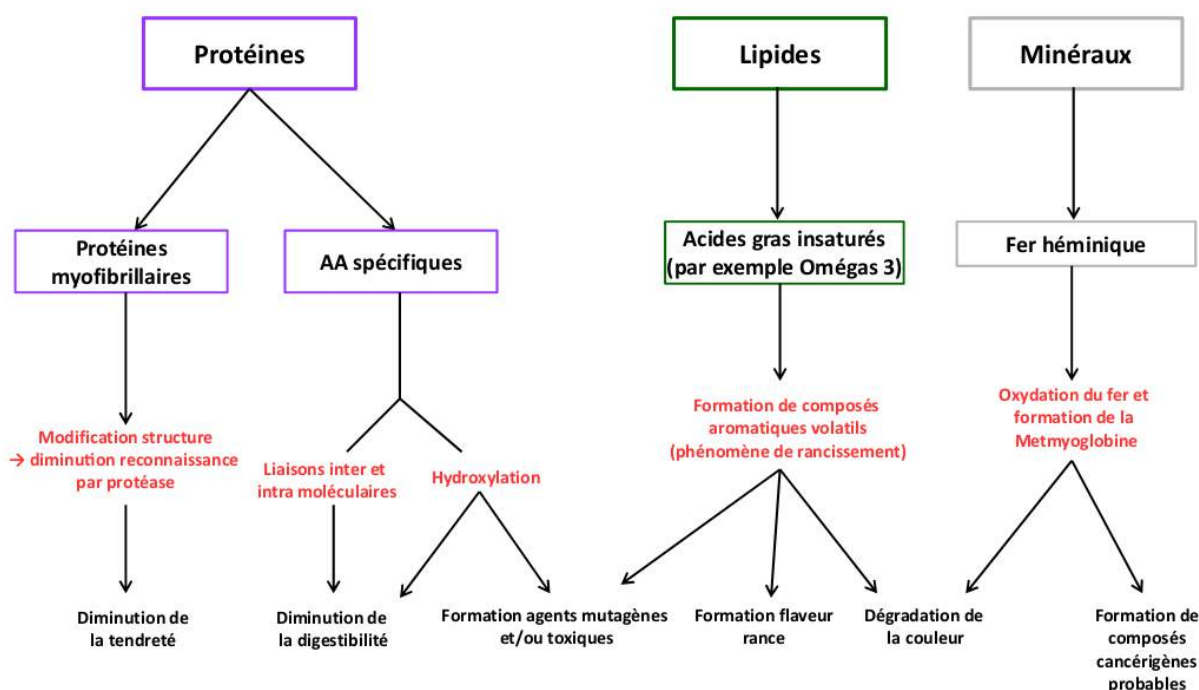
- La fonction thiol (-SH) de la cystéine est susceptible de s'oxyder en formant des ponts disulfures (-S-S-). La cystéine n'est pas, à proprement parler, un acide aminé essentiel. Par contre, en formant des ponts disulfures, l'oxydation des thiols participe aussi au phénomène d'agrégation des protéines (Morzel et al., 2006), conduisant à une diminution de la tendreté de la viande.

- Les acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine, tryptophane) sont très sensibles à l'attaque radicalaire (Gatellier et al., 2009a). L'hydroxylation des deux premiers peut conduire à la formation d'agents mutagènes possibles (Husain et Hadi, 1995). La tyrosine peut aussi

s'oxyder en dityrosine, composé impliqué dans l'agrégation des protéines (Morzel et al., 2006). En cas de conditions de stress oxydatif plus intense, le noyau aromatique du tryptophane peut s'ouvrir, conduisant à la formation de composés kinuréniques potentiellement mutagènes (Hashizume et al., 1991).

Les trois acides aminés basiques, la phénylalanine et le tryptophane sont des acides aminés essentiels, et leur dégradation oxydative participera donc à la baisse de la valeur nutritionnelle des protéines.

Des niveaux d'oxydation importants des protéines myofibrillaires peuvent entraîner une diminution de la tendreté des viandes du fait de la mauvaise reconnaissance de ces protéines par les protéases endogènes, comme les cathepsines ou les calpaïnes, responsables de la tendreté des produits (Morzel et al., 2006).



Schématisation des effets d'un stress oxydatif sur les différents constituants des viandes
(réalisation : auteur, adapté de Durand, cours à VetAgroSup)

B) Lien entre facteurs d'élevage et stabilité oxydative des viandes

1) Effet de la ration

Comme indiquée dans la partie sur la qualité nutritionnelle, une alimentation au pâturage, bien qu'augmentant de manière significative la teneur en AGPI, la classe d'acides gras la plus sensible au phénomène d'oxydation, n'entraîne pas d'augmentation du phénomène de peroxydation, contrairement à des supplémentations en graines oléagineuses extrudées (Durand et al., 2005). Cela est lié aux teneurs en antioxydants naturellement présentes dans l'herbe et absentes des graines. En effet, la prairie présente des teneurs élevées en antioxydants dits « exogènes », permettant ainsi une forte limitation du phénomène de lipopéroxydation (Durand et al., 2005).

Ces antioxydants sont de différentes natures :

- hydrophiles, comme les tanins, les polyphénols, les isoflavones, la vitamine C...
- lipophiles comme les vitamines E (antioxydant majoritaire), différents caroténoïdes....

Plus une prairie sera diversifiée et plus la diversité et les teneurs en antioxydants seront élevées, en sachant que la combinaison avec des espèces arbustives et arborées sera encore plus favorable. On peut par exemple citer :

- vitamine E apportée par les graminées
- vitamine A apportée par les légumineuses
- tannins apportés par certaines légumineuses (par exemple lotier et sainfoin) et par des espèces arbustives comme la bruyère, les feuilles de chêne etc.
- polyphénols apportés par les dicotylédones

Le pâturage de milieux diversifiés et riches en biodiversité apparaît donc ici essentiel.

2) Effet du type de conduite

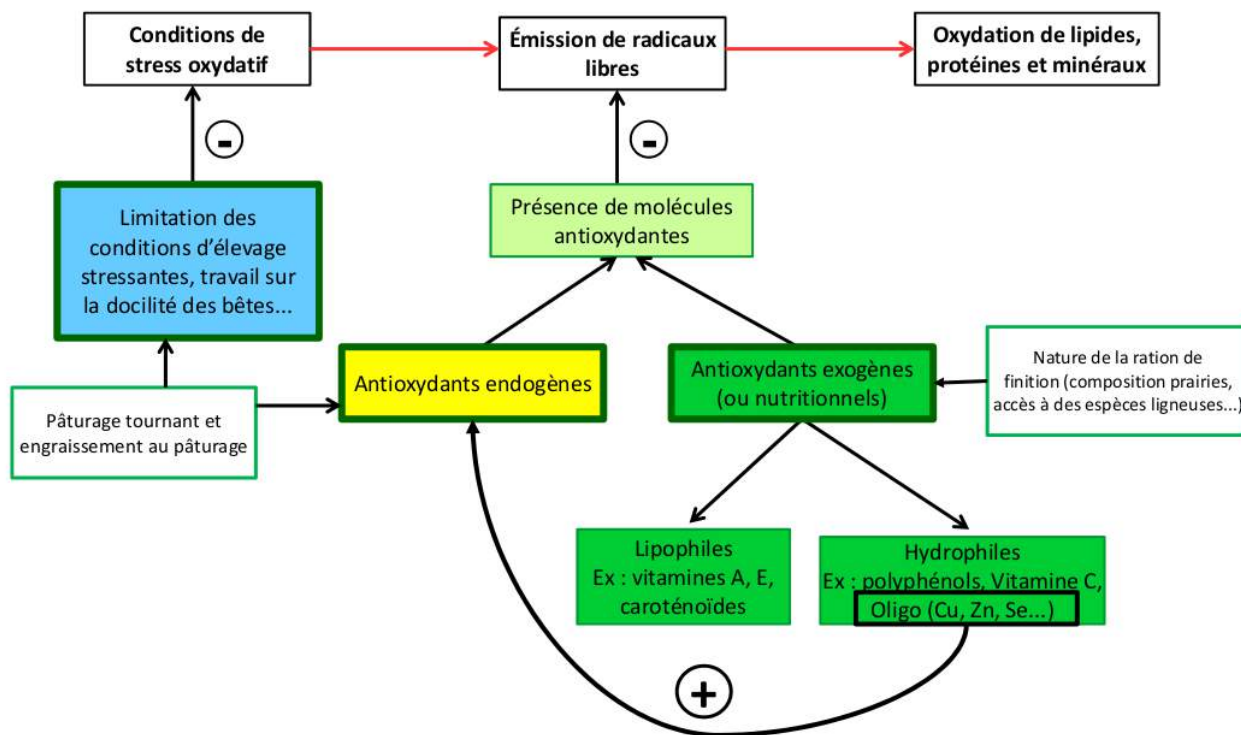
Les phénomènes d'oxydation peuvent également être réduits en travaillant sur les conditions d'élevage.

Le pâturage a des effets induits sur la teneur en antioxydant : il induit davantage de déplacements des animaux que lorsqu'ils sont en stabulation. Cet exercice physique est à l'origine d'une synthèse accrue d'antioxydants dits « endogènes », eux-mêmes subdivisés en deux catégories :

- complexes enzymatiques : SuperOxydase Dismutase (SOD), Glutathion Peroxydase (GPX), Catalase (CAT)...
- complexes non enzymatiques : Glutathion, Albumine, Bilirubine, Coenzyme Q10, acide urique...

La synthèse de ces antioxydants endogènes est donc accrue par l'exercice physique (Durand, communication personnelle), mais aussi par la teneur en certains oligoéléments comme le sélénium, le zinc, le cuivre ou bien le manganèse, qui peuvent être apportés par l'alimentation.

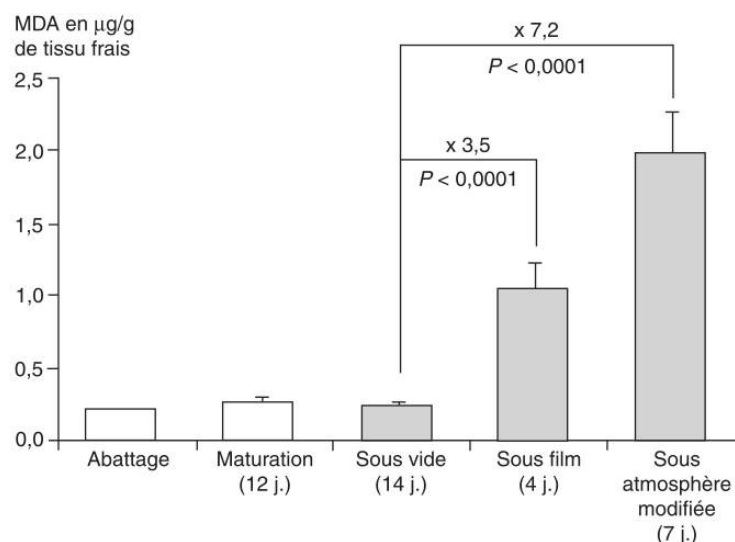
La docilité des animaux, induisant moins de stress au moment à l'abattage, est un élément pouvant jouer un rôle. Elle peut se travailler à l'échelle de la vie de l'animal, et être intégrée dans les critères de sélection. Le pâturage tournant par exemple, du fait des fréquentes manipulations de la part de l'éleveur, induit généralement des bêtes plus habituées à la présence de l'homme, et peut dans une certaine mesure limiter le stress au moment de partir à l'abattoir. Il va sans dire que les éleveurs n'ont que peu de poids sur le stress infligé in fine aux animaux et qu'un travail sur la docilité des animaux peut être facilement ruiné par des manipulations inadéquates dans les heures précédant la mort de l'animal. Un travail sur l'immunité des bêtes (grâce à une minéralisation adéquate) et/ou une bonne gestion du parasitisme (en intégrant le cycle des parasites dans les calendriers de pâturage) permettent également de limiter ces processus. De même, la limitation de phases de restriction juste avant la vente des animaux sera bénéfique à la stabilité oxydative.



Schématisation des leviers d'actions disponibles pour limiter le stress oxydatif des viandes (réalisation : auteur)

C) Point sur les facteurs technologiques

Les teneurs en antioxydants et leurs effets correspondants ont un fort effet de rémanence puisqu'ils vont limiter l'oxydation des nutriments d'intérêt jusqu'à la consommation finale du produit. Les différents types de conditionnement vont en revanche avoir de forts effets sur l'intensité du stress oxydatif et in fine sur la qualité du produit, raison pour laquelle il paraissait pertinent de présenter le graphique suivant :



Évolution des teneurs en malondialdéhyde (MDA), forme oxydé d'un AGPI, dans des viandes bovines au cours des étapes de maturation et de conditionnement (d'après Gobert et al., 2010).

La finition au pâturage, sur prairies et plus encore lorsque ces dernières sont associées à des espèces arborées et arbustives, permet d'assurer à la viande une bonne résistance à l'oxydation, que ce soit de manière directe grâce à l'ingestion d'antioxydants naturels ou indirecte par la synthèse d'antioxydants stimulés par l'activité physique. Cette stabilité oxydative apparaît donc favorable aux qualités nutritionnelle (nutriments protégés de l'oxydation), qualités organoleptiques (pas d'apparition de flaveur désagréable, pas de baisse de la tendreté) et qualités sanitaires (pas d'apparition des composés toxiques voire cancérigènes).

VII) Qualité des carcasses

A) Le poids carcasse et la conformation, deux éléments déterminants pour la rémunération des éleveurs en filière longue

Ce critère de qualité rend compte des proportions relatives des différents tissus (musculaires, adipeux et osseux) sur une carcasse, sur la base desquelles les éleveurs commercialisant leurs animaux en filière longue vont être notés et payés. Il apparaît donc d'autant plus important de le prendre en compte, la majeure partie des éleveurs enquêtés commercialisant encore une part non négligeable de leur production en filière longue. La conformation et l'état d'engraissement sont globalement liés à la conduite alimentaire de l'animal au cours de sa vie (et conditionnant son âge à l'abattage) mais aussi de son sa catégorie (agneau, agnelle, brebis, veau, bœuf, génisse, taurillon...) et son type racial (Ellies, 2014).

Les animaux qu'ils vendus doivent donc être conformes aux attentes des filières, attentes qui vont être différentes d'une espèce à une autre. A noter que la qualité de la carcasse ne donne aucune indication sur sa qualité intrinsèque, et notamment sa qualité sensorielle ou nutritionnelle). En France, et plus généralement en Europe continentale, la composante essentielle de la qualité de la carcasse est la quantité de maigre, donc de muscle. Il est important de rappeler que d'un pays à un autre, l'importance relative des différentes composantes de la viande peut varier : ainsi, au Japon et dans bon nombre de pays anglo-saxons (États Unis, Grande Bretagne, Nouvelle Zélande, Australie...) la proportion de tissu adipeux, et notamment intramusculaire, entre bien plus en compte dans la détermination du prix.

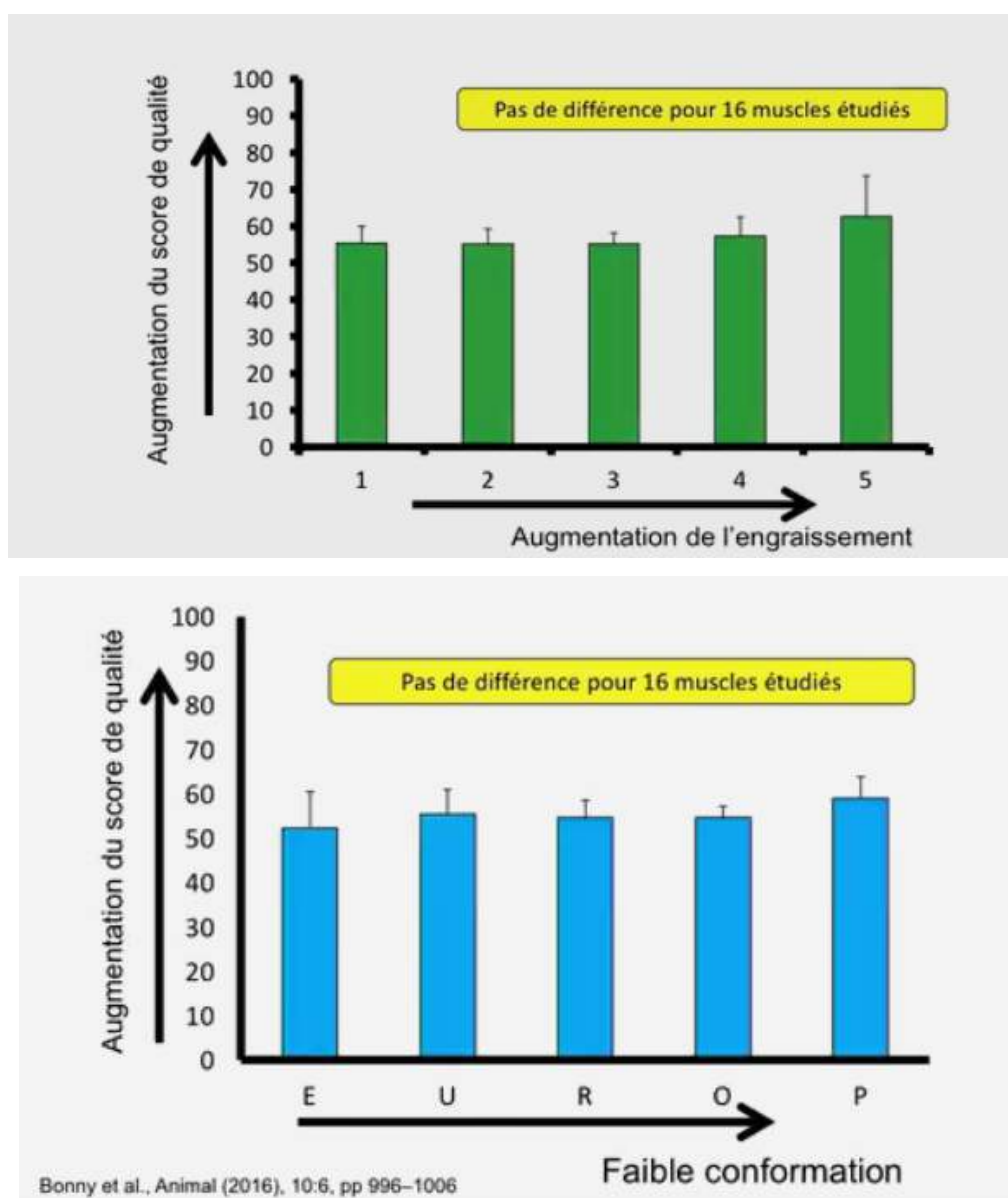
Ainsi, dans le système de notation des carcasses des bovins et ovins (système E.U.R.O.P.), les éléments à prendre en compte sont le poids carcasse (poids vif de l'animal auquel on soustrait le contenu du tractus digestif et le cinquième quartier), sans objectif de poids donné, et d'un point de vue qualitatif, les deux indicateurs fondamentaux sont la conformation (développement musculaire) et l'état d'engraissement final :

- la conformation est mesurée par une lettre, le E étant la note maximale et P la note minimale, avec des sous catégorie mesurées par les indicateurs « + », « = » et « - ».
- l'état d'engraissement est mesurée par un chiffre, 5 étant la note maximale et 1 la note minimale

De l'association de ces deux scores, par exemple R+3, dépend le prix par kilo de poids carcasse, le prix final dépendant donc de la note et du poids de la carcasse de l'animal.

Dans le cas des ovins, et notamment des agneaux, si la conformation et l'état d'engraissement sont également pris en compte, le poids à l'abattage est ici plus contraignant que dans le cas des bovins puisqu'il s'agit d'atteindre une fourchette de poids donné, cette fourchette étant déterminée par la race et par les habitudes alimentaires. Une autre spécificité des ovins, même si elle ne rentre pas officiellement dans le système de notation, concerne la fermeté et la couleur du gras de couverture, celui-ci devant être de préférence ferme et de couleur blanc nacré, et donc éviter le défaut du type « gras mou » (lié à un déséquilibre dans l'alimentation) ou un gras jaunâtre voire rougeâtre, et lié à des processus d'oxydation des lipides.

NB : comme rappelé précédemment, cette grille de notation ne rend pas compte de la qualité organoleptique de la viande, comme le montre les deux graphiques suivant (d'après Bonny et al., 2016) :



Lien entre qualité de la viande et l'état d'engraissement ou bien la conformation des animaux abattus (d'après Bonny et al., 2016)

B) Qualité des carcasses et finition au pâturage

Les défauts de carcasse, potentiellement préjudiciables pour la rémunération de l'éleveur, sont surtout le cas en production ovine. Observons toutefois le cas des deux espèces.

Dans le cas des bovins, la notation des carcasses se fait uniquement sur la conformation et l'état d'engraissement. Les défauts de carcasse sont le plus souvent le cas de races précoces présentant un état d'engraissement trop avancé par rapport à la quantité de viande, doublé d'une conformation peu intéressante, donnant des poids carcasses peu intéressants pour les filières. Dans les races à viande spécialisées, les cas de femelles grasses trop précocement est peu fréquent, à la différence des ovins. On semble observer un effet du type d'alimentation marqué, puisque dans la plupart des études menées jusqu'ici, à âge égal, les carcasses d'animaux finies à l'herbe apparaissent plus maigres.

Au sein du groupe d'éleveurs bovins finissant des animaux au pâturage, on observe deux cas différents :

- **Ceux qui ne font que de la vente directe et qui n'hésitent pas à recourir à des races plus précoces et plus rustiques (Galloway, Highland, croisements entre races laitières, viandes et rustiques) puisque la conformation n'entre ici pas en compte dans leur rémunération**
- **Ceux qui commercialisent encore largement leurs animaux en filière longue et qui ont le plus souvent des vaches de race Limousine, race à viande spécialisée dont la conformation même à l'herbe permet de facilement rentrer dans le cadre fixé par les filières longues.**

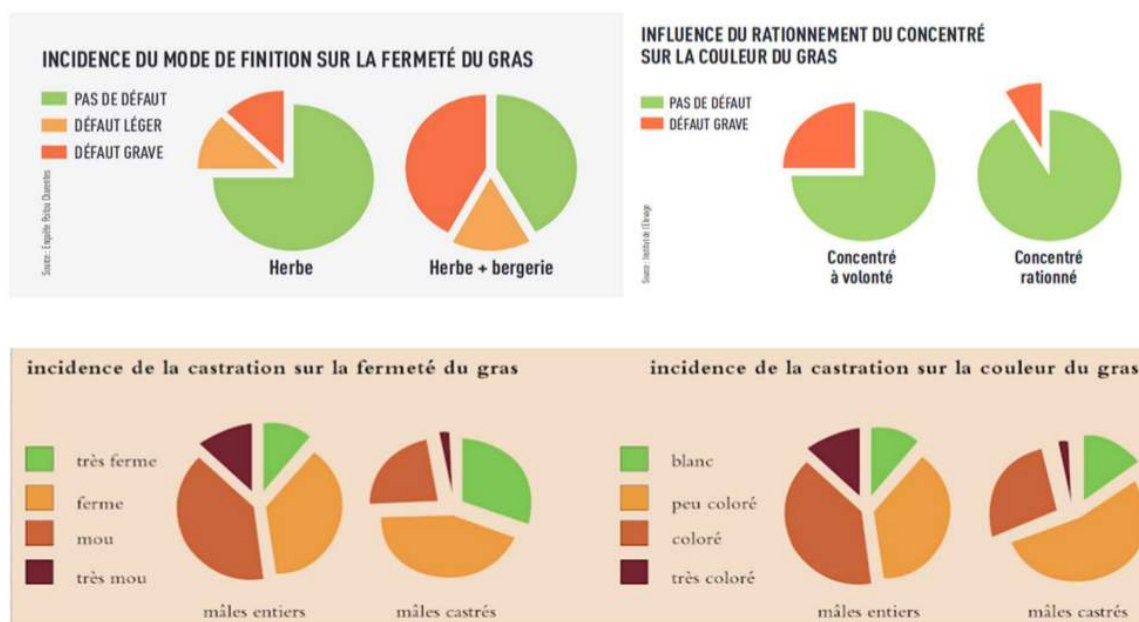
A noter le fait non négligeable que l'âge de vente des animaux n'est important que pour les veau rosés. Le fait de vendre une génisse à 28 ou 40 mois ne pénalisera pas l'éleveur, ce qui facilite la de finition au pâturage pour laquelle il faut facilement compter deux fois plus de temps pour finir correctement un animal au pâturage.

Dans le cas des ovins, et en particulier les agneaux, les filières sont bien plus contraignantes. Une des spécificités de ces filières est à la notation à l'abattage de la tenue et couleur du gras de couverture des carcasses selon une grille (1 : ferme à 4 : très mou à brun rouge), en plus des grilles de notation habituelles de conformation et d'engraissement des carcasses. Le défaut majeur rencontré est le défaut de fermeté (mollesse du gras), pouvant aller jusqu'à un aspect huileux du gras de couverture. Ce défaut est d'ailleurs le plus souvent associé à des défauts de couleurs du gras (couleur brun-rouge plutôt qu'une couleur blanche nacrée voulue). Bien que peu pénalisantes pour la qualité de la viande notionnelle ou sensorielle (à l'exception d'une saveur légèrement renforcée), ces défauts sont sanctionnés par des pénalités.

Au niveau tissulaire, ce manque de fermeté est souvent associé à une augmentation de la teneur en eau du tissu adipeux et à une modification de sa composition en acides gras, avec notamment une augmentation de la teneur en acides gras impairs et/ou ramifiés (AGI et AGCR) (Berthelot et al., 2001b) ou à une baisse de la teneur en AGS en faveur des AGI (Bas et al., 1998). Les AGPI, notamment les ALA et LA ne semblent pas être à l'origine de ces problèmes de défauts de fermeté (Berthelot et al., 2012). Les AGI et AGR sont en effet caractérisés par de faibles températures de fusion, inférieurs à celle des acides gras linéaires,

d'où la mollesse du tissu. Ce défaut est le plus souvent associé au défaut de couleur de gras brun-rouge.

Cette concentration en AGCR et la fréquence du défaut de couleur tendent à être supérieures chez les mâles entiers que les castrés (et donc que les femelles), et cela d'autant plus qu'ils ont été sevrés précocement et nourris aux concentrés (Young et al., 2006) :



Source graphiques : CIIRPO

Par conséquent, la castration pour les mâles et un rationnement de l'énergie en finition des agneaux permet de passer outre les problèmes de défauts de carcasses. Cette dernière mesure ralentit la croissance des agneaux, provoquant ainsi un allongement de la durée de la finition et le plus souvent une augmentation de la quantité d'aliments consommés par les agneaux, et donc une augmentation des coûts alimentaires. L'incorporation de certaines matières premières riches en glucides pariétaux (pulpes de betteraves par exemples) plutôt qu'en glucides amylacées (blé, orge...) ou bien l'utilisation de céréales entières broyées dans la ration peuvent également limiter, dans certaines études, améliorer la qualité des gras (Normand et al., 1997 ; Normand et al., 2005).

Les femelles étant plus précoces que les mâles, elles ont tendance à déposer du gras plus facilement que les mâles, de la même manière que la castration augmente le dépôt de gras. C'est pourquoi les femelles sont en général abattues à des poids vifs plus faibles que les mâles pour limiter un engraissement excessif. Pour un meilleur contrôle de l'adiposité, cela est généralement couplé à une limitation de l'énergie ingérée en fin d'engraissement.

La finition au pâturage s'avère plus complexe pour les agneaux pour plusieurs raisons. La première est d'ordre physiologique : les agneaux sont des animaux jeunes, normalement commercialisés entre 4 et 12 mois, qui vont donc demander à ration égale un temps d'engraissement plus long que des ovins adultes. Or, la finition au pâturage demande un temps au minimum deux à trois fois plus élevé puisque les premiers agneaux d'herbe vendus au sein du groupe d'éleveurs enquêté ne le sont pas avant 6-7

mois, et cela uniquement pour les têtes de lot. Si un agneau d'herbe n'est pas correctement engraisé avant l'hiver, trois solutions s'offrent aux éleveurs :

- la vente en maigre, sur le même modèle que les broutards en élevage bovin (peu satisfaisant d'un point de vue tant économique qu'éthique)
- la finition en bergerie en sachant que la viande des agneaux ainsi obtenus perdra les propriétés propres à l'élevage à l'herbe
- le report des agneaux en sachant que les animaux ne seront pas vendus avant la fin du printemps suivant, date à laquelle ils auront plus d'un an, date à laquelle ils ne seront pas acceptés en filière longue, ou bien alors fortement pénalisés.

Pour la majorité des éleveurs ovins enquêtés, situés sur le plateau de Millevaches où les terres labourables sont plus limitées que dans la plaine, la race majoritairement utilisée est la brebis limousine qui, à la différence de son homologue bovine, est une race plus rustique dont la conformation est trop souvent insuffisante pour la filière longue. Les agneaux d'herbe, en général vendus entre 6 et 9 mois, sont donc déjà à la base pénalisés par leur race, et les faibles conformations et poids carcasse se traduisent par des prix de vente en filière longue assez faibles.

C) Quel est l'avis des bouchers par rapport aux carcasses d'animaux finis à l'herbe ?

1) Contexte

S'il est possible de trouver de la documentation sur l'effet de l'engraissement à l'herbe sur la qualité nutritionnelle et organoleptique de la viande, il est en revanche beaucoup plus compliqué de récupérer des données quant à l'avis des professionnels sur les qualités bouchères de la viande, comme la facilité de découpe, la tenue de la viande ou bien encore les pertes en eau. A émergé de la rencontre entre Alexandre Floret, formateur boucherie au CFA de Tulle et Jacques Gauvreau, le président de l'ADAPA, la possibilité de travailler ensemble sur cette problématique, avec l'idée de construire un échange enrichissant entre ces deux types de professions, vitales pour le monde de l'élevage mais peu amenées à travailler de concert.

Des découpes ont donc été organisées en partenariat avec le CFA selon les modalités suivantes : les éleveurs font abattre leurs animaux et font amener les carcasses jusqu'à l'atelier de découpe. Elles seront ensuite découpées par le formateur en boucherie et par une équipe d'une quinzaine d'étudiants en Brevet Professionnel de boucherie, les éleveurs mettant au fur et à mesure les différents morceaux sous vide (pas de commercialisation en filière longue derrière, uniquement vente directe). Au cours de la découpe, les étudiants et leurs formateurs sont amenés à faire des observations sur les carcasses, observations qui seront ensuite communiquées aux éleveurs dans le cadre de restitutions donnant aussi la place à des questions des étudiants sur les méthodes d'élevages des agriculteurs.

Deux découpes ont été réalisées au cours de l'automne, une d'une vache intégralement finie à l'herbe et une sur cinq agneaux conduits selon cinq itinéraires différents.

Dans le second cas, les agneaux étaient anonymisés, de manière à ce que les étudiants découpent sans savoir à quel itinéraire de finition correspondait chaque agneau, et dans l'objectif qu'ils posent des hypothèses quant aux méthodes d'élevage. Les modes d'engraissement ont été dévoilés au cours de la restitution organisée deux jours après la

découpe, puis les agneaux ont été à nouveau anonymisés au cours d'une dégustation à l'aveugle au cours de laquelle ont été comparés les gigots tranchés et les côtelettes.

2) Retour des découpes

i) Découpe d'une vache finie à l'herbe

L'animal découpée était une vache de 4 ans finie intégralement au pâturage élevée au GAEC de la Geneste à Chamboulive. Elle a été abattue à Lubersac puis sa carcasse amenée au CFA de Tulle pour la découpe, pour un temps de maturation de 12 jours. La carcasse faisait 420 kg PC et a été classée U3.

Les observations suivantes ont été faites :

- viande assez claire avec toutefois peu de différence avec une vache âgée, probablement en lien avec le fait que les animaux sont au pâturage
- animal assez jeune impliquant une découpe facilitée
- gras très clair et très cassant : gras d'excellente qualité qu'il faut garder pour la cuisson
- classée 3 en état d'engraissement, ce qui est largement suffisant pour avoir une viande de qualité
- pas de caractère poisseux de la viande (qui collerait au couteau au moment de la découpe) impliquant une maturation s'étant bien déroulée

Globalement les éleveurs ont eu de très bons retours sur la carcasse, dont on n'aurait pas dit aux premiers abords qu'elle provenait d'un itinéraire d'engraissement uniquement basé sur de l'herbe pâturée. La conformation et l'état d'engraissement étaient parfaitement en adéquation avec ce qu'ils avaient l'habitude de travailler, mais la qualité du gras a beaucoup retenu l'attention.

ii) Découpe et dégustation comparées d'agneaux

Cinq agneaux ont ici été découpés, cinq agneaux de race Limousine élevés selon cinq itinéraires différents :

- Un agneau de bergerie de l'année de 6 mois fini au foin+concentré
- Un agneau d'herbe de l'année de 8 mois avec finition en bergerie fini au foin
- Un agneau d'herbe de l'année de 8 mois avec finition à l'herbe
- Un agneau de report de 20 mois fini au foin
- Un agneau de report de 20 mois fini à l'herbe

Tous les cinq ont été abattus à Ussel le même jour puis les carcasses ont été amenées au CFA de Tulle, pour un temps totale de 7 jours de maturation (élevé pour des agneaux). Tous les cinq ont été classés O2 pour des poids carcasses compris entre 14 et 17 kg). Tous les cinq ont été classés au cours de la découpe par rapport à leur conformation, état d'engraissement et fa-

cilité de découpe (1 étant le meilleur classement et 5 le pire). Les résultats suivants ont été obtenus :

	Agneau 1	Agneau 2	Agneau 3	Agneau 4	Agneau 5
Type de finition	Herbe	Foin+concentré	Foin	Foin	Herbe
Âge abattage	8 mois	6 mois	8 mois	20 mois	20 mois
Conformation	5	2	1	3	4
État d'engraissement	5	2	1	3	4
État gras	Cassant	Huileux	Cassant	Cassant	Cassant
Couleur viande	Foncée	Claire	Claire intermédiaire	Foncée	Foncée
Facilité découpe	5	2	1	4	3

On peut observer le fait que les agneaux d'herbe et les reports sont ceux qui sont les moins appréciés au niveau de la découpe, alors qu'ils sont également ceux qui sont les moins bien conformés et engraisés. On peut au passage noter le gras huileux repéré chez l'agneau fini en bergerie avec du concentré, qui corrobore le point bibliographique relatif à la synthèse d'AGCR lorsque le pH ruminal diminue. Ces résultats sont à mettre en relation avec ceux de la dégustation :

	Agneau 1	Agneau 2	Agneau 3	Agneau 4	Agneau 5
Type de finition	Herbe	Foin +concentré	Foin	Foin	Herbe
Âge abattage	8 mois	6 mois	8 mois	20 mois	20 mois
Gigots tranchés	1	4,7 (pb cuisson)	3,1	1,9	3,9
Côtelettes	1	3,8	3,3	2,4	4,4 (pb cuisson)

Les retours des deux découpes ont montré que la finition à l'herbe semble favorable au type de gras recherché par les bouchers, soit un gras clair et cassant. Ce retour au niveau de la couleur reste surprenant car les études bibliographiques semblaient

indiquer que la finition au pâturage avait comme conséquence un gras de couleur jaunâtre, en lien avec l'accumulation de pigments.

La facilité de découpe semble être liée à l'âge de l'animal et à son activité physique. Si cette observation en semblait pas préjudiciable chez la vache découpée, le retour par rapports aux ovins était plus mitigé, avec une découpe peu appréciée des agneaux de report et de l'agneau d'herbe de 8 mois.

Alors que la durée de maturation de la vache (12 jours) avait paru normale, celle des agneaux (7 jours) a surpris les étudiants du CFA pour sa longueur, et ils s'attendaient à devoir beaucoup plus parer les carcasses pour enlever les parties oxydées. Pourtant, très peu de parage a été réalisé, probablement en lien avec les teneurs en antioxydants. Par ailleurs, aucun caractère pisseux n'a été relevé.

Si la carcasse bovine a été appréciée par bien des aspects, les carcasses ovines d'herbe ont fortement déçu au niveau de la découpe, entre autre en lien avec leur conformation. De l'avis des étudiants, le problème sera visuel dans la vitrine d'une boucherie : la viande a beau être excellente (la dégustation ayant complètement inversé les ordres de préférence), un consommateur ne sera pas attiré par cette viande, et un boucher ne voudra sûrement pas l'acheter.

Globalement, la finition au pâturage semble présenter de très nombreux avantages puisqu'elle permet de fournir des produits carnés plus riches d'un point de vue nutritionnel, avec des propriétés organoleptiques attrayantes tout en assurant une bonne conservation de ses caractéristiques, évitant par la même occasion la formation de molécules potentiellement néfastes pour la santé. Les rares points négatifs relevés concernent essentiellement les ovins avec le risque de formation de flaveur indésirable (mais maîtrisable par une bonne gestion du pâturage) et surtout le conformation dans le cas de races rustiques comme la brebis Limousine.

Toutefois la qualité est pour l'instant peu prise en compte dans les grilles de prix des filières longues, puisque des caractéristiques comme les teneurs en lipides intramusculaires, en oméga 3 ou bien en antioxydants ne sont pas prises en compte dans la rémunération des éleveurs. Par conséquent il apparaît essentiel d'étudier si, indépendamment de la qualité intrinsèque des produits, ces systèmes permettent aux paysans de vivre de leur métier. La dernière partie de cette étude sera consacrée à l'efficacité économique des systèmes herbagers allaitants, ici centrée sur les systèmes bovins du piémont.

VIII) Efficacité économique et environnementale des systèmes d'élevage avec finition au pâturage

A) Méthodologie et système de calcul

L'objectif de cette étude économique est de comparer différents systèmes bovins allaitants coexistant dans la zone de piémont, d'un point de vue **économique** mais aussi en terme

environnemental (bilan de GES et d'énergie) et social. Différentes stratégies devaient être comparées, comme l'engraissement à l'auge versus à l'herbe (permettant ainsi d'étudier l'impact de temps de finition bien plus longs au pâturage) ou bien l'engraissement versus la vente en maigre.

La plupart des éleveurs finissant à l'herbe des bovins ont été enquêtés, avec à chaque fois un focus sur leur ancien système (système naisseur engraisseur à l'auge ou système broutard) afin d'identifier les différents postes de charges sur lesquels il y a eu des modifications. Afin de disposer de données suffisamment robustes, plusieurs agriculteurs hors réseau (en général des voisins) ont enquêtés notamment pour avoir des données supplémentaires sur les éleveurs naisseurs engraisseurs à l'auge.

Le panel enquêté n'est donc pas un échantillon quantitatif (ou statistique) mais qualitatif et permettant ainsi de rendre compte de stratégies peu utilisées et qui ne seraient pas étudiées en cas d'échantillonnage statistique. A partir des données récoltées ont été construit trois modèles présentant trois fonctionnement types de correspondant donc pas exactement à une exploitation donnée mais dans lequel peuvent se reconnaître les éleveurs enquêtés.

Note : l'étude ayant été réalisée dans un laps de temps court, les données présentées ici seraient à approfondir et à affiner. Elles donnent en revanche une estimation des performances de ces systèmes. De même, plusieurs simplifications ont dû être faites face à la diversité de pratiques et surtout de différentes modalités d'accès et d'utilisation du matériel agricole. Les différentes hypothèses seront présentées dans la seconde partie.

Trois systèmes ont modélisés :

- **Engraissement et finition de tous les animaux (réformes, taurillons et génisses)) à l'auge en ration sèche (système auge)**
- **Engraissement et finition à l'auge des réformes et vente des veaux de l'année en broutards et broutardes (système broutard)**
- **Engraissement et finition à l'herbe de réformes et génisses et vente des mâles en broutards (système herbe)**

La méthode de calcul économique utilisée pour déterminer les performances économiques des différents systèmes **diffère très largement des méthodes utilisées en comptabilité**, qui présentent certains inconvénients, comme par exemple celui de ne pas pouvoir clairement imputer à chaque système de culture et/ou d'élevage un produit ou bien des charges, et empêchant ainsi la mise en relation du fonctionnement technique avec les résultats économiques. De plus, la comptabilité d'une exploitation correspond à une année donnée, et ne rend donc pas compte de la très forte variabilité interannuelle, que ce soit au niveau des rendements ou du prix des intrants (semences, engrais, carburant...). Or, **on cherche ici à caractériser les performances de chaque système de production « en moyenne »** (et pas celles d'une année particulière). Enfin, l'amortissement du matériel calculé ici correspond à **l'amortissement réel** (prix d'achat de l'équipement divisé par le nombre réel d'années d'utilisation du matériel) et non pas à l'amortissement comptable qui intègre des méthodes

d'optimisation fiscale.

Pour ce faire, la modélisation des résultats économiques de chaque système de production est étroitement liée à la modélisation préalable d'un **fonctionnement technique en rythme de croisière de ce système**, pour lequel on s'attache à déterminer des prix et rendements moyens. En exprimant, par hectare ou par tête, la quantité de chacune des productions et consommations propre au fonctionnement technique spécifique modélisé pour chaque système de production, puis en multipliant ces quantités par le prix respectif de ces différents biens et services, on accède aux grandeurs économiques recherchées, tout en pouvant procéder à des tests de sensibilité au prix. Afin de mesurer et de comparer les performances économiques des différents systèmes de production, on s'appuie sur un indicateur :

La **valeur ajoutée nette** qui correspond au produit brut (1) (valeur des productions agricoles finales, y compris autoconsommées) auquel sont retranchées (2) la valeur des biens et services détruits ou bien consommés au cours de l'exercice (consommations intermédiaires) et (3) la perte de valeur annuelle du capital fixe immobilisé (dépréciations annuelles moyennes du capital fixe). La valeur ajoutée permet ainsi de mesurer la création de richesse permise par un système de production qui, ramenée par actif, par hectare ou par tête, peut être ensuite comparée entre systèmes de production.

Afin d'arriver au **revenu agricole** il faudrait également retrancher l'ensemble des redistributions qui traduisent les conditions d'accès aux ressources mobilisées dans le processus de production (rente foncière, rémunération de la main d'œuvre familiale, intérêts sur le capital emprunté, taxes sur le foncier et les produits), et à laquelle viennent s'ajouter les subventions (6). Ce revenu agricole, qui diffère du revenu comptable, exprime la part de la valeur ajoutée revenant aux exploitants agricoles pour un système de production donnée.

Toutefois, la **comparaison économique s'arrêtera à la valeur ajoutée** pour la raison suivante : a été décidé par le commanditaire de l'étude de comparer les trois différents systèmes sur une même exploitation avec la même main d'œuvre, ce qui implique que les prix d'accès au foncier et à la main d'œuvre sont les mêmes. Les intérêts sur le capital emprunté sont ici trop subjectifs pour être pris en compte. La seule chose qui serait vraiment modifiée serait le montant des aides PAC. **Toutefois, l'objectif était ici de s'affranchir des subventions afin d'étudier la robustesse économique des systèmes d'élevages indépendamment de la PAC.**

Note : afin que la comparaison soit la plus rigoureuse possible, les trois systèmes sont modélisés en conventionnel avec l'intégralité de la production commercialisée en filière longue.

B) Présentation des trois systèmes modélisés

On considère donc une exploitation de 120 ha sur laquelle trois systèmes d'élevage sont mis en place, avec des investissements en terme de bâtiments, équipements agricoles et achats annuels d'intrants différents. On va ici s'attacher à présenter d'un point de vue comparatif les différents éléments de ces trois systèmes.

1) Présentation générale

	Système herbe	Système broutards	Système auge
SAU	120		
SFP	112	110	
UGB	152	182	188
Chargement (UGB/ha SFP)	1,35	1,65	1,70
Production animaux maigres par an	42 broutards (tous les veaux mâles et quelques femelles)	80 broutards (tous les veaux mâles et femelles sauf le renouvellement)	/
Production animaux finis	20 réformes et 10 génisses	25 réformes	20 réformes, 23 génisses lourdes et 43 taurillons
Taux d'engraissement Qtx kg Viande Vive engraissée Qtx kg Viande Vive totale	61 %	42 %	100 %

Plusieurs agriculteurs du réseau commercialisent des veaux mâles en veaux rosés (abattus avant 8 mois) et font des bœufs. Ces pratiques sont essentiellement le fait d'éleveurs commercialisant soit en bio (veaux rosés et bœufs) soit en vente directe (veaux rosés). Du fait des hypothèses de modélisation, ces deux stratégies ne sont pas modélisées.

2) Système de culture et production fourragères

	Système herbe	Système broutards	Système auge
SAU	120 ha		
Ha cultures	8	10	
Rotation type	Méteil (2 ans)/PT	Blé/Triticale/PT	

Rendements moyens cultures	35 qtx/ha	60 qtx/ha	
Traitements phytos	/	1 désherbant pré levée + 1 fongicide	
Nb ha 1ère coupe	55	65	75
Nb ha 2 ème coupe	10	10	15
Type conditionnement	80 % foin et 20 % enrubannage	55 % foin et 45 % enrubannage	
Engrais	/	Ammonitrate (céréales et PF) Engrais de fond (céréales)	
Amendements	Calcaire grossier (tous les 3-4 ans)	Chaux ou carbonates tous les 2-3 ans	
Travaux par entreprise	Moisson		
Matériel en CUMA	Épandeur à fumier (frais en fonction du nombre de bennes), presse (frais en fonction du nombre de boules) et enrubanneuse (frais en fonction du nombre de boules)		
Besoins en fioul (L)	7000	8500	10 000

Parmi les éleveurs enquêtés faisant de l'engraissement à l'herbe, la plupart faisait encore quelques hectares de cultures, le plus souvent semé en méteil, association de différentes céréales à paille (blé, seigle, orge, avoine) et de légumineuses (pois et vesces) qui présente l'avantage d'être très couvrant (permettant de limiter les adventices) et ne nécessite pas d'engrais de synthèse (une partie de l'azote étant apporté par les légumineuses). La diversité de cultures et de variétés permet également de se passer de traitements fongiques. Le méteil est avant tout un levier technique pour renouveler les prairies et fournit un complément équilibré pour les broutards, les génisses la première année et les mères suitées en hiver. Les systèmes auge et broutards sont plus classiques en terme de cultures qui sont dans la majorité des cas des cultures conduites en pure et nécessitant des traitements fongiques et herbicides.

La bonne maîtrise du pâturage, comprenant en particulier une phase de déprimage, induit un décalage dans la pousse de l'herbe qui permet de faucher, pour un stade donné, un peu plus tard dans la saison, et favorise la production de foin par rapport à celle d'enrubannage. Les périodes d'hivernage étant plus longues et les animaux davantage complémentés en hiver, les agriculteurs mettant en place les systèmes herbe et broutards ont tendance à faire davantage d'enrubannage, fourrage plus dense en énergie et en protéines que de foin, d'où les différences observées.

La bonne maîtrise du pâturage avec des temps d'occupation courts couplés à un chargement instantané élevé permet d'optimiser la répartition des bousats et pissats des bovins. Les pâtures ne sont pas fumées tous les ans, la production de fumier étant gardées en priorité pour

les prés de fauche et les cultures. Le déprimage tardif (et donc l'étêtage) qui arrive parfois sur les exploitations mettant en place les systèmes broutard et auge induit un recours à de l'ammonitrate sur les prés de fauche afin d'obtenir les rendements espérés, alors que ces apports sont absents dans le système herbe. Si les rendements des cultures présentent de gros écarts, ces derniers sont très faibles sur les rendements en fourrages.

Du fait du nombres d'hectares de prés de fauche et de cultures supérieurs, associés à des opérations culturales supplémentaires (apports d'engrais, d'amendements et de pesticides pour les cultures), des écarts déjà significatifs sont observés en terme de besoins en fioul. Les travaux de distribution des fourrages, plus longs puisque la durée d'hivernage est plus importante et que des animaux sont à l'engraissement à l'auge tout l'année, sont aussi à prendre en compte dans les écarts de besoins en fioul enregistrés.

3) Système d'élevage des mères et veaux

	Système herbe	Système broutards	Système auge
Chargement (UGB/ha SFP)	1,35	1,65	1,70
Nombre de vaches mères	75	110	90
Durée hivernage	3 mois et demi – 4 mois	4 mois et demi – 5 mois	
Complémentation des veaux	Mâles + quelques femelles à partir de 4-5 mois jusqu'à la vente à 8-9 mois	Tous les veaux à partir de 3 mois	
Type de concentré	Méteil autoconsommé	Aliment complet acheté (Mash broutard 18 MAT)	
Poids des mâles vendus en broutards (8- 9 mois) en kg PV	310-330	340-350	/
Poids des femelles vendues en broutardes (8- 9 mois) en kg PV	270-280	290-300	/

Du fait d'une complémentation un peu plus tardive et d'un complément moins riche en énergie, les broutards du système herbe sont en moyenne plus légers avec des écarts néanmoins peu importants. La volonté ne pas trop compléter les femelles rentre dans la stratégie de sélectionner les génisses sur leur caractère herbager, donc leur capacité à s'alimenter uniquement sur la base des prairies. Les niveaux de complémentation sont moins

élevés dans le système auge que dans le système broutards, qui soutient fortement la croissance des veaux, sa principale source de revenus.

4) Engraissement des taurillons (spécifique système auge)

Durée engraissement	6-8 mois
Âge à la vente	14-16 mois
Poids à la vente (poids carcasse)	350-360
Besoins moyens en foin (totale période engraissement)	1,3 T
Besoins moyens en céréales (totale période engraissement)	630 kg
Besoins moyens en correcteur azoté 25 MAT (totale période engraissement)	630 kg

La ration d'engraissement est composée d'un mélange 50/50 de céréales aplaties (auto-produites et achetées car pas d'autonomie en aliment, voir bilan fourrager) avec du foin à volonté. Les animaux commencent à 2 kg d'aliment et finissent 12 kg, avec une augmentation progressive au cours de l'engraissement.

5) Engraissement des génisses (spécifiques systèmes herbe et auge)

	Système herbe	Système auge
Âge démarrage engraissement génisses	24 mois	
Durée engraissement	12 à 16 mois	4 à 6 mois
Âge à la vente	36 à 40 mois	28 à 30 mois
Poids à la vente (poids carcasse)	380	
Besoins moyens en foin (totale période engraissement)	1,1 T	420 kg
Besoins moyens en céréales (totale période engraissement)	/	390 kg
Besoins moyens en correcteur azoté 25 MAT (totale période engraissement)	/	390 kg

La sélection entre renouvellement et engrais se fait aux alentours de 2 ans et l'on considère que l'engraissement effectif (et donc passage à la ration spécifique engraissement dans le cas du système auge) se fait à 24 mois. Les génisses finies à l'herbe en plus d'un 1 an passeront donc au moins un hiver sur la ferme, qui correspond donc à la 1,1 tonne de foin nécessaire. Pour les génisses finies à l'auge, la ration d'engraissement est composée d'un mélange 50/50 de céréales aplaties (auto-produites et achetées car pas d'autonomie en aliment, voir bilan fourrager) avec du foin à volonté. Les animaux commencent à 2 kg d'aliment et finissent 8 kg kg, avec une augmentation progressive au cours de l'engraissement.

On remarque peu de différences en terme de poids carcasse (380 en moyenne) et les conformations et état d'engraissement sont en général similaires (U-3 à R+3).

6) Engraissement des réformes

	Système herbe	Système broutards	Système auge
Durée engraissement	6 à 12 mois	4 à 6 mois	
Poids à la vente (poids carcasse)	380-420	400-450	
Besoins moyens en foin (totale période engraissement)	1,1 T	900 kg	
Besoins moyens en céréales (totale période engraissement)	/	600 kg	
Besoins moyens en correcteur azoté 25 MAT (totale période engraissement)	/	600 kg	

Les vaches finies à l'herbe en 6 à 12 mois passeront au moins un hiver sur la ferme, qui correspond donc à la 1,1 tonne de foin nécessaire.

Pour les vaches finies à l'auge, la ration d'engraissement est composée d'un mélange 50/50 de céréales aplaties (auto-produites et achetées car pas d'autonomie en aliment, voir bilan fourrager) avec du foin à volonté. Les animaux commencent à 8 kg d'aliment et finissent 12 kg kg, avec une augmentation progressive au cours de l'engraissement.

Les réformes sont un peu plus lourdes à l'auge mais avec des conformations et état d'engraissements similaires (U-3 à R+3).

7) Bilans fourragers

	Système herbe	Système broutards	Système auge
Compléments broutards (T)	/	+32	+ 15,5
Céréales (T)	/	- 36	+ 14
Correcteur azoté 25 MAT (T)	/	+ 23	+ 54
Paille (litière)	+71	+ 120	+ 185

Le seul achat en terme d'intrant alimentaire du système herbe est la paille servant de litière, pour laquelle aucun des trois systèmes n'est autosuffisant. La finition se faisant à l'herbe et le méteil servant de complément pour les broutards.

Les deux autres systèmes sont en revanche caractérisés par des fortes dépendances par rapport aux achats d'aliment complet pour broutards et de correcteur azoté, qui vont fortement peser dans les charges opérationnelles. A noter que si le système auge doit acheter un peu moins de la moitié de ses besoins en céréales, le système broutard est ici excédentaire et vend sa surproduction pour payer une partie de ses achats.

A partir des données zootechniques présentées précédemment, on va maintenant s'attacher à étudier les résultats économiques de ces trois systèmes.

C) Présentation et discussion des résultats économiques et environnementaux

1) Résultats économiques

i) Références de prix

Avant de présenter les différents résultats, les grilles suivantes indiquent les différentes références de prix utilisées :

Intrants cultures	Prix
Mélange prairie temporaire (d'après les doses agrégées des différentes graminées et légumineuses et de leurs prix respectifs)	188 €/ha
Blé	165 €/ha
Triticale	150 €/ha
Méteil (d'après les doses agrégées des différentes graminées et	180 €/ha

légumineuses et de leurs prix respectifs)	
Ammonitrate	300 €/T
Engrais de fond phospho potassique	350 €/T
Calcaire grossier	22,5 €/T
Carbonate	70 €/T
Chaux	185 €/T
Fongicide (céréales à paille)	50 €/ha
Herbicide (céréales à paille)	47,5 €/h
Moisson (ETA)	125 €/ha
Épandage CUMA	0,6€/T de fumier épandu
Presse (CUMA)	2,4€/balle
Enrubannage (CUMA) avec achats rouleaux inclus	4,8 €/boule

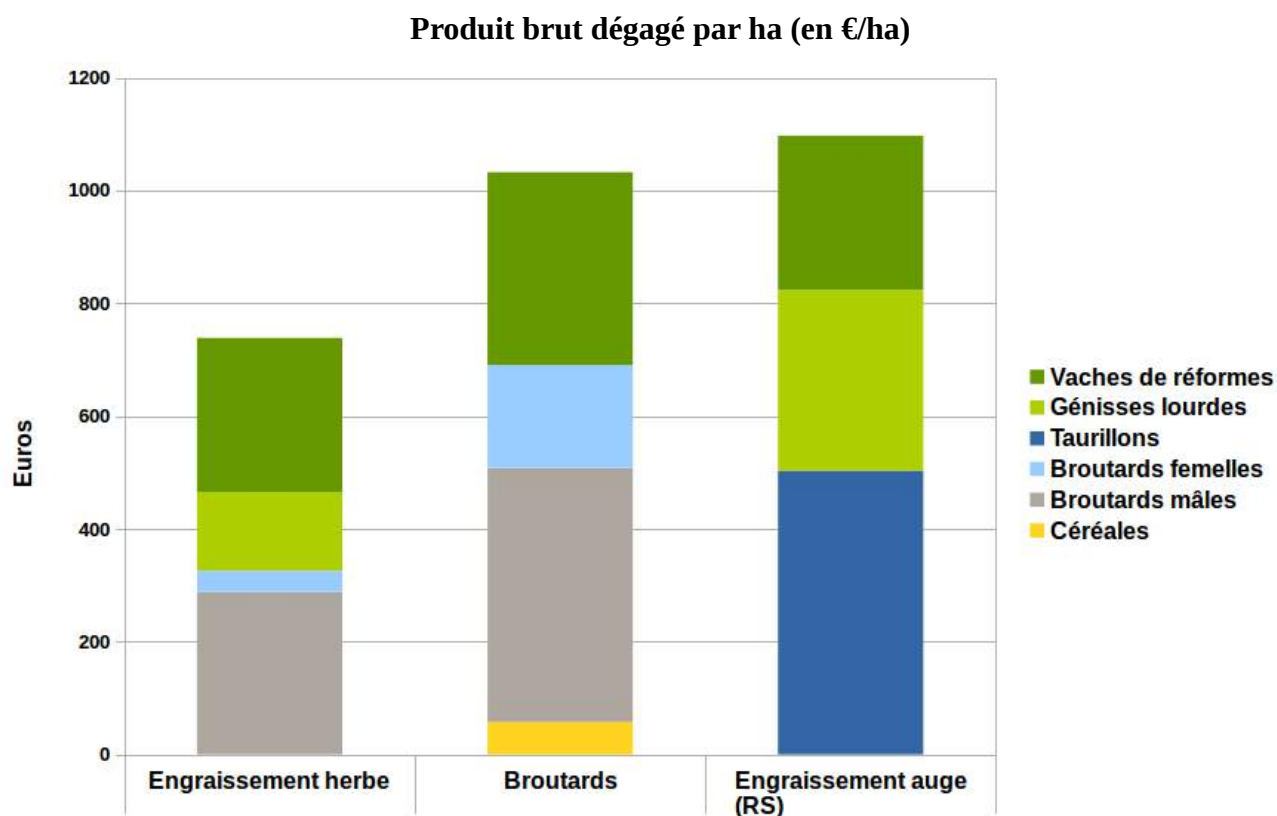
Intrants élevage	Prix
Paille	60 €/T
Sel	0,5 €/kg
Aliment complet broutard (18 MAT)	300 €/T
Céréales	180 €/T
Correcteur azoté (25 MAT)	320 €/T

Intrants exploitation	Prix
Fioul (GNR tracteur)	0,8 €/L
Gazole	1,4 €/L

Prix de vente	Prix
Vaches de réformes	4,1 €/kg PC
Génisses	4,4 €/kg PC
Taurillons	3,9 €/kg PC
Broutards mâles	3 €/kg PV
Broutards femelles	2,7 €/kg PV
Céréales	180 €/T

A partir des différentes références de prix indiquées ici ont été calculés les produits bruts dégagés ainsi que les différents montants de charge à retrancher pour arriver à la formation de la valeur ajoutée. On raisonnera dans un premier temps en produit brut et valeur ajoutée dégagée par hectare.

ii) Formation du produit brut et de la valeur ajoutée



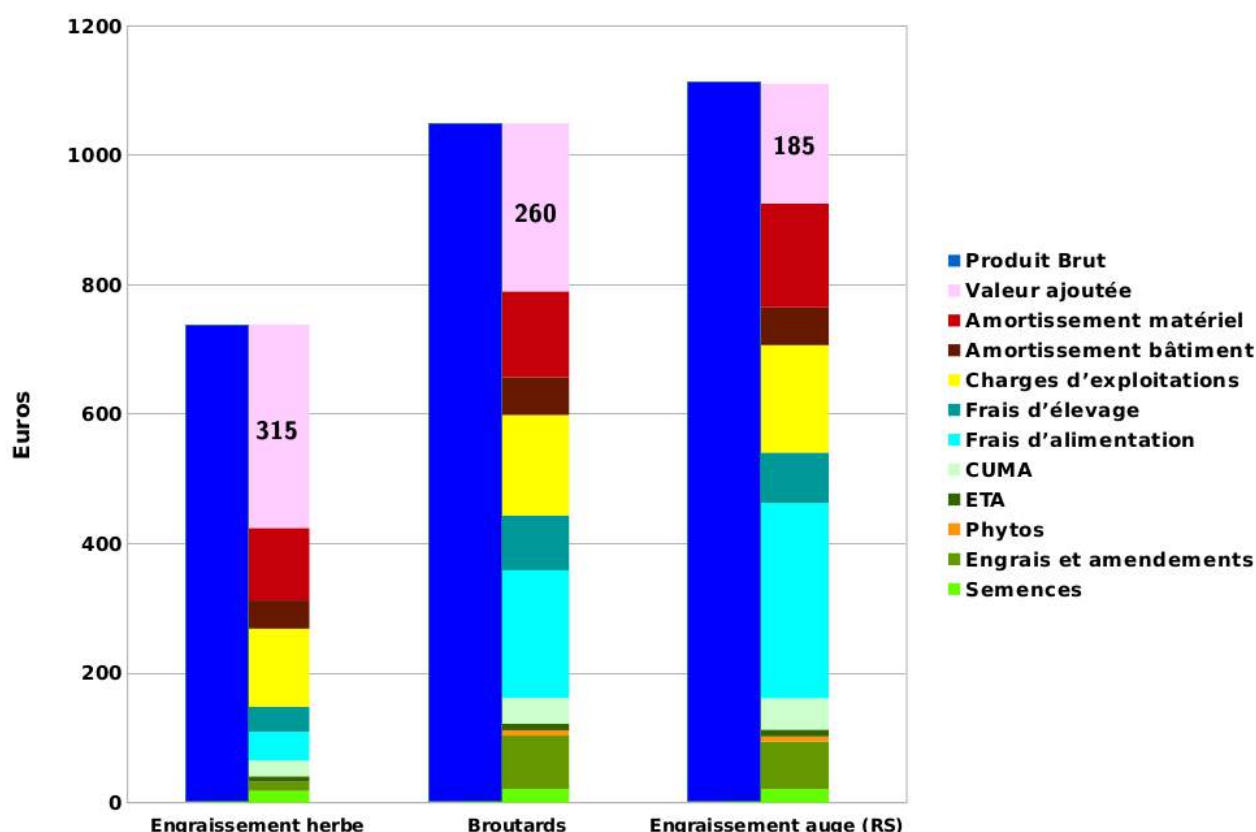
Comme on peut le voir sur le graphique suivant, c'est le système auge qui dégage le plus gros produit brut par ha qui, pour rappel, ne prend donc en compte que les ventes d'animaux et de cultures dans le cas du système broutard. A noter que malgré un nombre de vaches mères plus

élevé pour le système broutard, celui-ci dégage moins de produit brut que le système auge, impliquant un meilleur produit brut dégagé par mère.

On remarque qu'une part non négligeable du système herbe reste dépendant de la filière broutard, puisque tous les veaux mâles sont commercialisés de cette manière. Cette observation rappelle la difficulté majeure rencontrée par les éleveurs bovins en finition à l'herbe, celle de la voie mâle.

Si l'on reste cantonné à l'étude du produit brut, la finition au pâturage semble moins efficace d'un point de vue économique. Toutefois, l'étude de la valeur ajoutée et des charges conduisant à sa formation contredit largement cette affirmation :

Valeur ajoutée dégagée par ha (en €/ha)



Les montants de charges propres à chaque système inversent complètement la tendance observée sur la formation du produit brut, puisque c'est le système herbe qui ressort en tête en terme de valeur ajoutée par hectare, en raison d'une moindre érosion du produit brut :

	Système herbe	Système broutards	Système auge
Érosion du produit brut	57 %	75 %	83 %

Plusieurs postes de charges apparaissent déterminants dans l'érosion différentielle du produit brut :

- **les engrais et amendements**, en raison d'une utilisation régulière d'ammonitrate et d'engrais de fond dans les systèmes broutard et auge alors qu'ils sont absents du système herbe, ainsi que l'utilisation de produits chaulant moins agressifs et meilleur marché
- **les frais d'alimentation** du fait des achats conséquents d'aliment pour veaux et de correcteurs azotés pour les systèmes auge et broutards, et absents du système herbe. A noter que les prix des matières azotées sont soumis à de fortes fluctuations, mettant encore plus en danger les éleveurs du fait du manque de visibilité à long terme.
- **les frais d'élevage** du fait d'une utilisation plus fréquente voire systématique de différents produits sanitaires comme les vaccins et ou les produits antiparasitaires dans les systèmes auge et broutards. Une gestion raisonnée du pâturage (allant de paire avec une bonne gestion du chargement et l'intégration des cycles des parasites) permet de limiter le parasitage et un travail fréquent sur l'immunité (minéralisation, probiotiques...) permet de limiter l'usage des vaccins
- **les charges d'exploitation** dont les différences enregistrées sont essentiellement liées aux achats de carburants
- **l'amortissement du matériel agricole** avec un renouvellement plus rapide du matériel dans les deux derniers systèmes du fait d'une usure plus rapide (davantage d'hectares travaillés et davantage d'opérations culturales) et parfois du matériel en plus ou bien un tracteur plus puissant
- **l'amortissement des bâtiments** avec des bâtiments de plus grande dimension pour accueillir des cheptels de plus grandes dimensions et sur de plus longues périodes

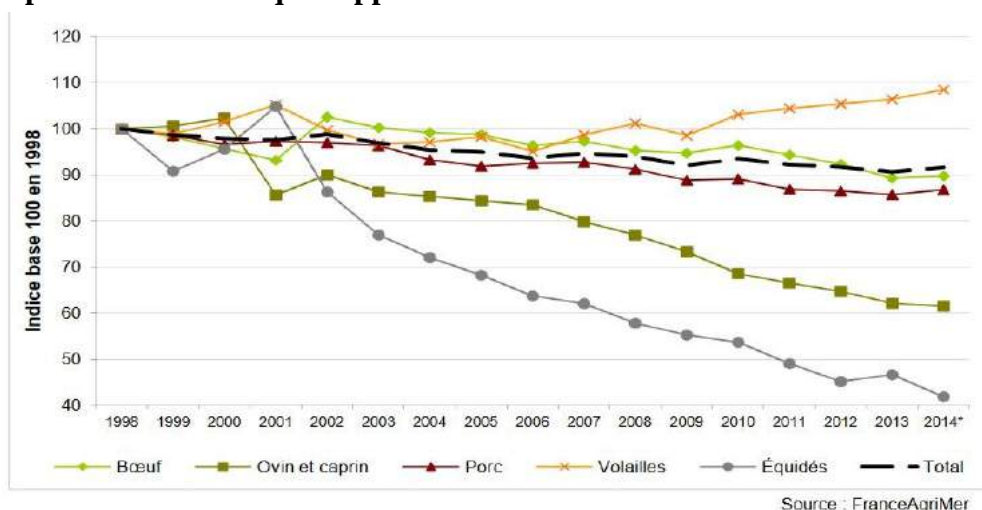
Le système herbe est donc celui qui dégage le plus de valeur ajoutée, alors que c'est celui qui a le produit brut le plus faible, résultat obtenu grâce à la compression des charges sur de multiples postes. La finition au pâturage n'implique pas qu'une diminution des achats d'aliments, puisqu'elle implique une diminution du nombre d'hectares travaillés, le pâturage étant favorisé à la fauche, et la gestion de la fertilité reposant sur des piliers autres que la chimie agricole. **La finition au pâturage n'est donc pas à intégrer comme une seule pratique agricole mais bien comme un système.**

Remarque : le système herbe, ici modélisé en conventionnel, pourrait passer en bio sans rien changer à son système, et ainsi augmenter son produit brut sans augmenter les charges. Une conversion aurait des effets bien plus marqués sur les systèmes auge et broutards, les engrais de synthèse, pesticides étant interdits, le nombre de traitements vétérinaires réduit et les prix des aliments du commerce facilement multiplié par deux.

La modélisation présentée ici ne prend pas en compte le temps de travail propre à chaque système, mais il apparaît évident qu'à nombre de bêtes égal, la finition au pâturage ne demande pas le même temps d'astreinte que la finition à l'auge, entre le temps de travail consacré à l'alimentation des animaux à l'engrais (apport de la ration en deux fois tous les jours) et les hectares supplémentaires travaillés pour la finition à l'auge (davantage de stocks nécessaires). Par rapport au système broutard, le nombre bien inférieur d'animaux, couplé à un nombre d'hectares travaillés également inférieur laisse deviner le même résultat. **Cette appréciation reste qualitative et demanderait une étude spécifique pour déterminer le valeur ajoutée rapportée au temps de travail.**

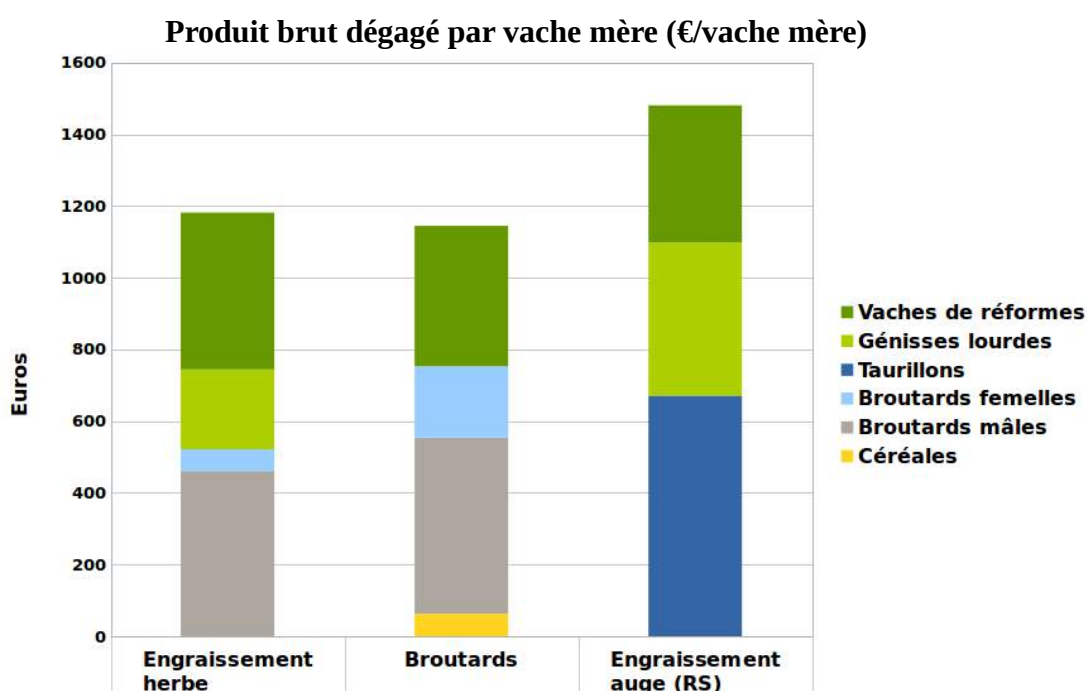
Les écarts de valeur ajoutée enregistrés par hectare permettent également de conclure quant à l'effet de la finition au pâturage sur le maintien et ou création d'emplois agricoles. En effet, si à surface égale le système herbe dégage un meilleur résultat économique, cela implique que, **pour un résultat économique équivalent, des éleveurs mettant en place le système herbe ont besoin de moins de surfaces pour vivre, ce qui est favorable à l'installation et au nombre d'exploitations pouvant coexister sur un même territoire et qui va à l'encontre des logiques d'agrandissement aujourd'hui observée à l'échelle de toute la France.**

iii) Comparaison économique rapportée à la vache mère



Evolution indicielle de la consommation individuelle de viande en France

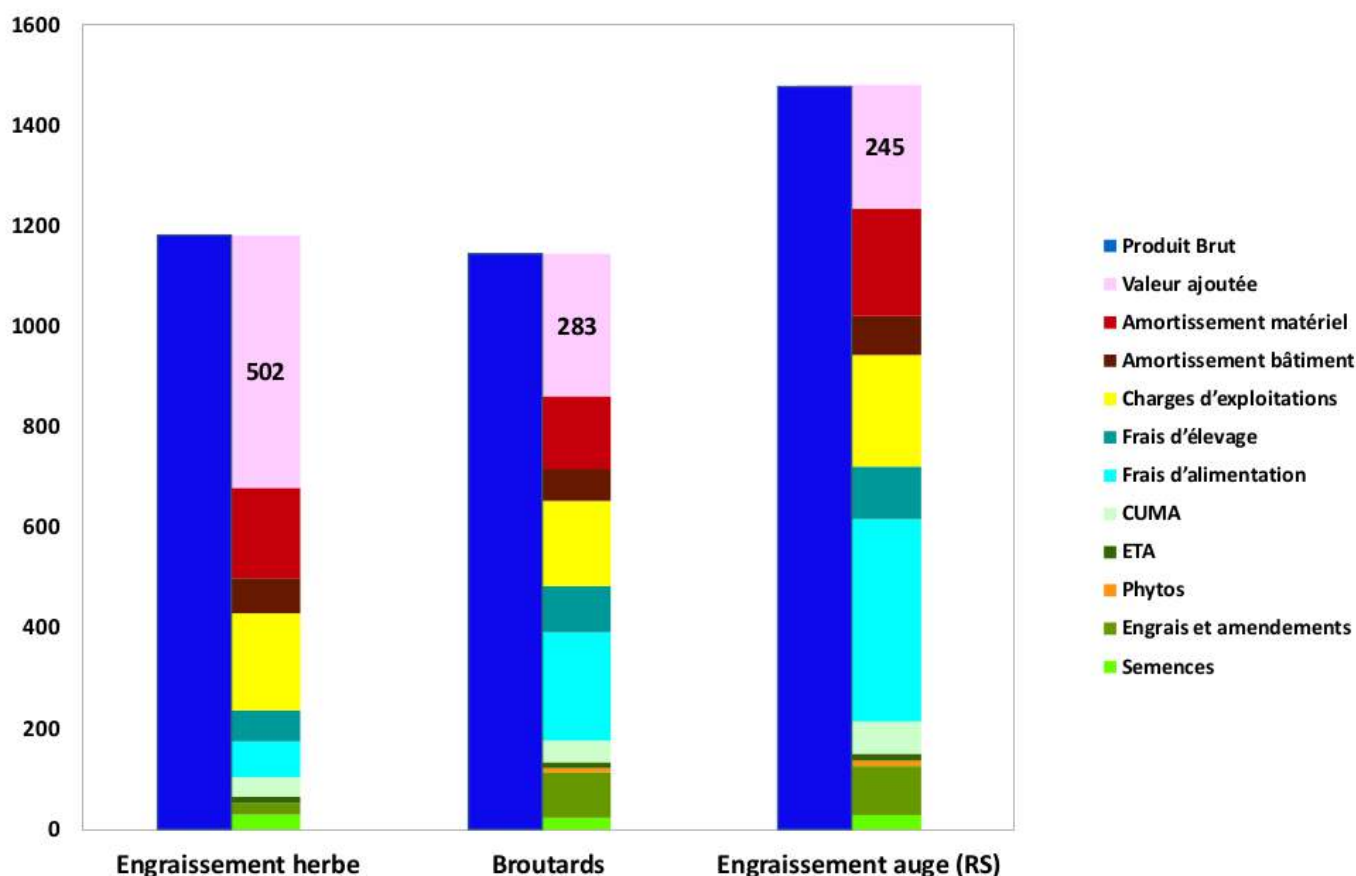
Les systèmes d'élevage doivent également s'adapter aux évolutions des demandes des consommateurs qui, en France comme dans de plus en plus de pays européens, consomment de moins en moins de viande rouge (cf graphique précédent). Là encore, le système herbe permet d'apporter une réponse pertinente. On va ici ramener les résultats économiques à la vache mère :



On retrouve la même tendance que lorsque les résultats sont ramenés par hectare, à ceci près que cette fois ci c'est le système broutard qui dégage le moins de produit brut par vache, compensé par le nombre de vaches mères (**110 contre 90 pour le système auge et 75 pour le système herbe**). A noter que celui-ci est sans doute le volatile, du fait de la forte variabilité des cours des broutards. Le système auge, du fait de l'engraissement des mâles et des femelles, est logiquement celui qui dégage le plus gros produit brut par vache mère.

Si l'on étudie l'érosion du produit brut conduisant à la valeur ajoutée par vache, on arrive au résultat suivant :

Valeur ajoutée dégagée par vache mère (€/vache mère)



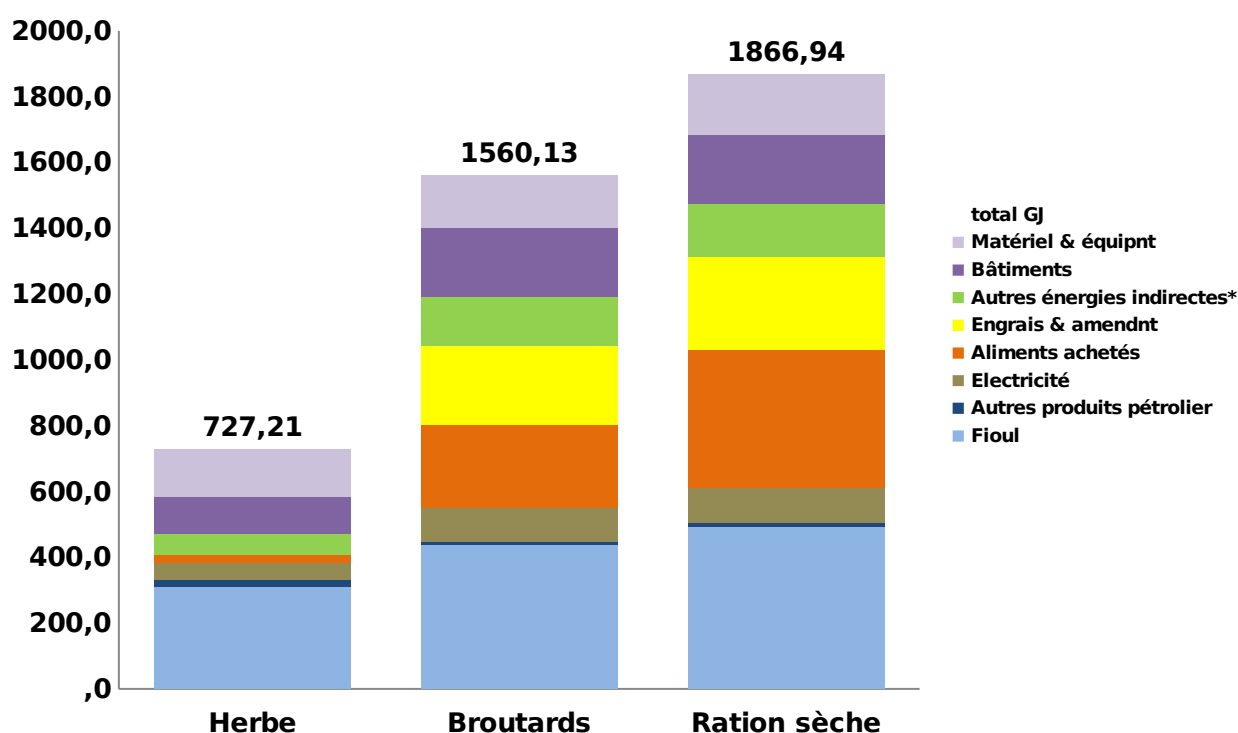
On observe exactement les mêmes résultats que précédemment, la seule différence notable par rapport aux différents postes de charge étant l'amortissement du matériel agricole plus élevé dans le système herbe que dans le système broutard, du fait d'un parc matériel de dimension similaire mais amorti sur plus d'animaux dans le système broutard. **Le système herbe reste celui qui dégage le plus de valeur ajoutée par vache mère.**

Ce résultat s'inscrit dans le contexte de diminution de la consommation de viande en France. Les éleveurs mettant en place le système herbe dégagent plus de valeur ajoutée par vache mère, ce qui implique que pour un revenu donné il leur faut moins d'animaux que dans les deux autres systèmes, et donc qu'ils produisent moins de viande pour dégager un revenu équivalent. Les éleveurs faisant de la finition à l'herbe sont donc les plus adaptés au contexte socio-économique actuel français.

2) Résultats des bilans d'énergie et de GES

La dernière étape de cette étude consiste à faire une comparaison des trois systèmes d'élevage modélisés quant à leur impact sur l'environnement au travers des bilans énergétiques et de gaz à effet de serre. Les données ont été traitées par Romain Dieulot et David Falaise du Réseau CIVAM grâce au logiciel Diaterre. On obtient les résultats suivants :

Bilan énergétique des systèmes (en GJ)



Les postes énergétiques, par exemple des aliments achetés, correspondent à l'énergie nécessaire pour produire, transformer et acheminer les aliments achetés jusqu'à l'exploitation. On voit ici que les trois principaux postes à l'origine des différences observées sont le fioul, les aliments achetés et les engrais, faisant du système herbe le système le plus économe en énergie. Si l'on ramène aux kilos de viande vive produits, cette tendance se maintient :

	Système herbe	Système broutards	Système auge (ration sèche)
GJ/kg VV	2,11	3,63	3,38

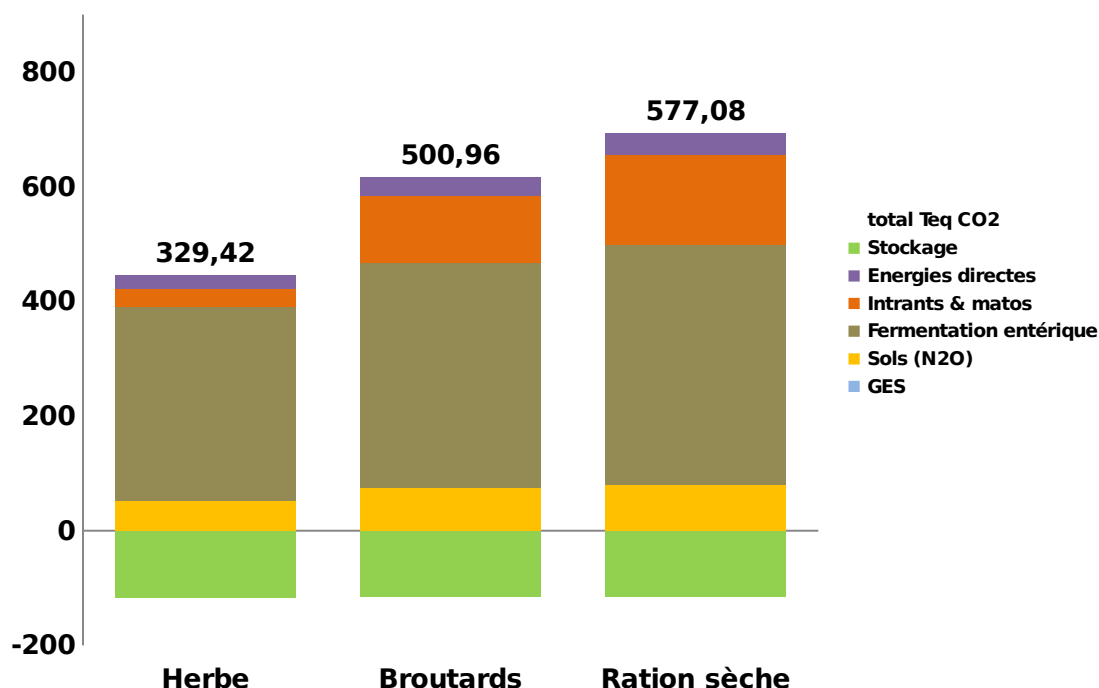
On observe que malgré le fait que le système herbe soit celui qui produit le moins de kilos de viande vive, c'est malgré tout celui qui reste le plus économique d'un point de vue énergétique. A l'inverse, le système broutards, qui produit essentiellement des animaux maigres non engraisés, est le plus inefficace.

Note : il est essentiel de noter que dans le cas des systèmes herbe et broutards, les veaux mâles et femelles, le plus souvent exportés en Italie, sont engraisés dans des systèmes

intensifs proches du système auge. Par conséquent une part non négligeable des consommations énergétiques sont exportées ailleurs, et fausse donc l'analyse. Se pose donc une fois de plus la question de la voie mâle en finition à l'herbe, pour l'instant résolu (et de l'avis de tous de manière insatisfaisante) par la production de broutards.

Les bilans de GES (gaz à effets de serre émis pour la production des différents intrants et équipements) donnent des résultats globalement similaires :

Bilan GES des systèmes (en T_{eq} CO₂)



A noter que si la captation du CO₂ par les haies est ici similaire du fait que l'on a considéré une exploitation unique sur laquelle on a décliné les trois systèmes, alors que dans les faits de très fortes variations peuvent exister entre exploitations. Les émissions de NO₂ sont liés au travail du sol notamment lors du retournement des prairies, et sont donc très variables avec des émissions quasi nulles dans des systèmes tout herbe, comme il y en a dans le réseau CIVAM. Enfin, le fonctionnement de la prairie n'est ici pas pris en compte, alors que l'on sait qu'une prairie pâturée de manière optimale à un fonctionnement écologique plus optimal et capte donc plus de carbone.

Le système herbe ressort une fois de plus par rapport aux systèmes broutard et auge. Ramené aux kilos de viande vive, on obtient les résultats suivants :

	Système herbe	Système broutards	Système auge (ration sèche)
GJ/kg VV	0,96	1,13	1,04

Si les différences observées sont plus minimales que dans le cas des bilans énergétiques (mais modulo les très nombreuses approximations du logiciel), le système herbe est au minimum au même niveau que les deux autres en termes d'émission de GES. A noter que comme dans le cadre des bilans énergétiques, une part des émissions sont exportées ailleurs avec les broutards dans le cas des systèmes herbe et broutards.

Les systèmes d'élevage basés sur la finition au pâturage permettent donc aux éleveurs qui les mettent en place de vivre de mieux vivre de leur travail, puisqu'à surface égale la valeur ajoutée dégagée par hectare apparaît supérieure à des systèmes broutards ou finition à l'auge. Ils se démarquent en particulier par une forte diminution d'intrants, à la tête desquels on trouve les engrais de synthèse et les concentrés azotés. Les résultats économiques rapportés à la vache mère indiquent que la valeur ajoutée par vache est ici encore plus largement supérieure dans des systèmes naisseurs engraisseurs à l'herbe que dans des systèmes naisseurs ou naisseurs engraisseurs à l'auge.

Ces observations, ramenées dans un contexte de diminution de la consommation de viande, de forte volatilité des prix des matières premières et d'un prix du pétrole amené in fine à augmenter (et lequel est axé le prix des engrais de synthèse), démontrent la plus forte résilience des systèmes d'élevage basés sur la finition au pâturage.

Les bilans énergétiques et de GES semblent également aller dans le même sens, c'est à dire à l'avantage des systèmes naisseurs engraisseurs. Toutefois, les approximations des modèles et les exportations d'une partie des émissions et des consommations énergétiques via la filière broutard faussent les résultats obtenus et ne permettent pas de faire de conclusions solides sur cet aspect donné.

Conclusion de l'étude

Depuis plusieurs années voire plusieurs décennies, nombreux sont les consommateurs et citoyens à demander des produits animaux de qualité, d'un point de vue sanitaire, organoleptique et nutritionnel, couplés à des pratiques d'élevage respectueuses de l'environnement et intégrant le bien être animal. Ils doivent enfin permettre aux éleveurs de vivre de leur travail, permettant ainsi le maintien de nombreuses exploitations, garantes d'un tissu rural dense et de campagnes vivantes.

Les systèmes basés sur la finition à l'herbe répondent à chacune de ces attentes sociétales puisque la plupart des études bibliographiques montrent les atouts des produits carnés issus de ces systèmes. L'étude économique réalisée précédemment apporte elle du crédit à la résilience économique de ces systèmes. Elle vient s'ajouter aux nombreuses études réalisées par le Réseau CIVAM et par le milieu de la recherche. La dépendance aux intrants est particulièrement diminuée en passant à ces systèmes, ce qui est d'autant plus pertinent dans un contexte de volatilité du prix des matières agricoles et de tendance générale à la baisse du prix d'achat des produits animaux. La valeur ajoutée dégagée par vache mère est ici une donnée essentielle, puisque la consommation de viande diminue, et qu'il faudra en produire moins pour dégager un revenu agricole au moins égal voire meilleur qu'actuellement.

Les systèmes en finition à l'herbe présentent malgré tout deux faiblesses majeures, et pouvant menacer leur pérennité. Le premier a trait à la commercialisation en filière longue :

- pour l'élevage bovin, la principale faiblesse apparaît être la voie mâle. La plupart des éleveurs font partir tous les ans la plupart des veaux mâles comme broutards, et se posent la question de cohérence des pratiques. En effet, quelle logique y a-t-il à s'attacher à produire une viande qualité sur la voie femelle et continuer à envoyer des veaux en ateliers d'engraissement où, si le bien-être animal est de plus en plus contrôlé, la qualité des produits à la sortie sera inférieure ? Les solutions actuellement mises en place, veaux rosés et bœufs, ne paraissent pas satisfaisantes à tous les éleveurs, et d'autant plus lorsqu'ils sont en conventionnel, les filières dont ils dépendent ne recherchant pas ses animaux.
- Pour l'élevage ovin, la difficulté la plus fréquemment rencontrée a trait au poids-âge type demandé par les filières longues pour les agneaux. La finition au pâturage se caractérise par des animaux finis à un âge plus avancé. Si cela ne pose guère problème pour les bovins, en ovins la filière est complètement inadaptée à des ovins qui sont plus des moutons que des agneaux. Le fait de demander des agneaux de moins de 12 mois de 18-19 kg de poids carcasse pénalise très fortement les éleveurs faisant de la finition à l'herbe avec des races rustiques comme la Limousine. A noter que le même phénomène touche les bovins de races rustiques anglo-saxonnes comme la Galloway, invendables en filière longue

Globalement, dès que les éleveurs s'éloignent des critères standards des filières, soit lié à la race dans le cas des bovins, soit lié à la conformation, état d'engraissement et race dans le cas des ovins, ils sont fortement pénalisés par les filières longues. Cela est d'autant plus regrettable dans le cas des filières bio, qui emboîtent le plus souvent le pas des filières conventionnelles en terme de poids-âge type pour les ovins, et disqualifiant les animaux finis à l'herbe, alors même que les produits sont de meilleure qualité.

Si la vente directe permet de contourner ses difficultés, elle ne permettra pas de commercialiser l'intégralité de la production, d'autant plus dans un contexte où l'on souhaite voir se développer les systèmes naisseurs-engraisseurs à l'herbe, et avec des difficultés marquées dans les grands bassins d'élevage comme le Limousin, où les éleveurs seraient rapidement en concurrence. Par conséquent, la reconnaissance de la plus-value des carcasses finies à l'herbe par les filières longues, mais aussi par les professionnels de la viande comme les bouchers, est essentielle pour assurer un débouché à ces produits. La remise en question des seuls critères conformation et état d'engraissement dans la détermination des prix payés aux éleveurs apparaît donc ici nécessaire.

Le second est d'ordre technique et inscrit dans un contexte de changement climatique.

Les systèmes naisseurs-engraisseurs à l'herbe se caractérisent par leur très grande technicité puisqu'ils demandent une excellente maîtrise de la ressource herbacée, de plus en plus variable d'une année sur l'autre étant donné la vitesse à laquelle évolue le climat et en évolution permanente sous l'effet de contraintes biotiques et abiotiques. Les repères tels qu'ils sont actuellement discutés en journées d'échanges (en terme de chargement instantané, temps de repos, temps d'occupation etc.) sont amenés à évoluer dans les prochaines années, avec des

décalages certains dans les périodes de croissance de l'herbe (davantage de précocité au printemps, généralisation du pâturage hivernal etc.). De même, l'augmentation de la fréquence des sécheresses conduit de plus en plus d'éleveurs à affourager leurs animaux en été, avec des stocks déjà entamés à l'arrivée de l'hiver, et pouvant menacer l'équilibre économique des fermes.

Différentes solutions sont actuellement expérimentées ou envisagées par les éleveurs des réseaux, toutes tournées autour de la diversification des ressources pâturées, et allant à l'encontre de recommandations poussant à augmenter les stocks fourragers. Cette diversification des ressources est à adapter selon les contextes de chaque zone. On peut ici citer le recours à des arbres fourragers, plantés en bordure de champs ou directement dans les prairies, et qui jouent autant un rôle d'ombrage que de fournisseur de fourrage en saison sèche, la généralisation des intercultures à pâturer, le semis de prairies sous des cultures en place afin de qu'elles soient suffisamment bien développées en été et à même de résister aux sécheresses. Le recours aux espaces semi naturelles, incluant des zones de sous bois et zones humides est également de plus en plus fréquent, puisqu'ils présentent une structure écologique plus complexe, plus diversifiée et plus résiliente face à des aléas climatiques.

Pour conclure, les systèmes d'élevage naisseurs engraisseurs à l'herbe sont plus que jamais l'illustration de systèmes paysans résilients d'un point de vue économique et social, écologiquement intensifs et à l'origine de produits de qualité, garants de la santé des consommateurs et du bien être des animaux. Leur force vient du fait qu'ils sont le fruit des savoirs faire paysans, étroitement liés aux contextes locaux, et qui sans cesse s'adaptent et se réinventent grâce à la force du collectif et des échanges au sein de réseaux comme les CIVAM. Dans un contexte de changement climatique, d'incertitudes quant à l'évolution des prix des produits agricoles et des intrants, d'interrogations quant à l'évolution de la Politique Agricole Commune et de désertification du monde rural, ils constituent l'une des réponses les plus pertinentes à la crise profonde que connaît le monde agricole.

Bibliographie

A

Agabriel C., Cornu A., Journal C., Sibra C., Grolier P., Martin B., 2007. Tanker milk variability according to farm feeding practices: vitamins A and E, carotenoids, color and terpenoids, *J. Dairy Sci.*, 90:4884-4896.

Aitken, F.C. and Hankin, R.G., 1970. Vitamins in Feeds for Livestock. Technical communication No. 25, Commonwealth Bureau of Animal Nutrition, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK.

Albrecht E., Teuscher F., Ender K., Wegner J., 2006. Growth- and breed-related changes of muscle bundle structure in cattle. In : *Journal of Animal Science* 84(11):2959-64.

Aldai N., de Renoables M., Barron L.J.R., Kramer J.K.G., 2013. What are the trans fatty acids issues in food after discontinuation of industrially produced trans fat ? Ruminant products, vegetables oils, and synthetic supplements. *Eur J Lipid Sci Technol.* 115:1378-401.

Aldai N., Dugan M.E.R., Kramer J.K.G., Martinez A., Lopez-Campos O., Mantecon A.R., Osoro K., 2011. Length of concentrate finishing affects the fatty acid composition of grass-fed and genetically lean beef: an emphasis on trans-18: 1 and conjugated linoleic acid profiles», *Animal*, 5(10), 1643-1652.

Alderson, N.E., Mitchell, G.E., Jr, Little, C.O., Warner, R.E. and Tucker, R.E., 1971. Pre-intestinal disappearance of vitamin E in ruminants. *Journal of Nutrition* 101, 655–660.

B

Ballet N., Robert J.C., Williams P.E.V., 2000. Vitamins in forages. In : *CAB International Evaluation in Ruminant Nutrition* (eds D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed).

Barry, T.N., Manley, T.R., 1986. Interrelationships between the concentrations of total condensed tannin, free-condensed tannin and lignin in *Lotus* spp. and their possible consequences in ruminant nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 37, 248–254.

Bas P., Giral B., Rouzeau A., 1998. Defects in the quality of subcutaneous fat in Lacaune lambs reared indoor. In : Flamant J.C., Gabina D., Diaz M.E., Basis in the quality of typical Mediterranean animal products. EAAP for animals production publication. Badajoz, Spain, 454-5.

Bas P., Sauvant D., 2001. Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. *INRA Prod. Anim.*, 14, 311-322.

Bauchard D., Vérité R., Rémond B., 1984. Long chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass spring to autumn. *Can J. Anim Sci.* 64:330-1.

Bauchart D., Gobert M., Durand D., 2009. Prevention of beef lipoperoxidation by antioxidants given in diets of meat producing cattle. In: Improvement of animal food and human health benefits. Proceedings of the 4th Meeting of the French Nutrition Society joined with the Spanish Society of Dietetic (SEDCA), 10-12 décembre, Le Corum, Montpellier, France.

Bendall, J. R., 1967. The elastin content in various muscles of beef animals. *J. Sci. Food Agric.*, 18, 553-558.

Berthelot V., Bas P., Schmidely P., Duvaux-Ponter C., 2001. Effect of dietary propionate on intake patterns and fatty acid composition of adipose tissues in lambs. *Small Rumin Res.* 40:29-39.

Berthelot, V., Pierzynowski, S.G., Sauvant, D., Kristensen, N.B., 2002. Hepatic metabolism of propionate and methylmalonate in growing lambs. *Livest. Prod. Sci.* 74, 33-43.

Bertram H.C., Engelsen S.B., Busk H., Karlsson A.H., Andersen H.J., 2004. Water properties during cooking of pork studied by low-field NMR relaxation: effects of curing and the RN-gene. *Meat Science* 66, 437-446

Bertram, H. C., Purslow, P. P., & Andersen, H. J. (2002). Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: a low-field nuclear magnetic resonance study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 824-829

Bilik K., Weglarzy K., Borowiec F., Lopuszanska- Russek M., 2009. Effect of feeding intensity and type of roughage fed to limousin bulls in the finishing period on slaughter traits and fatty acid profile of meat, *Ann. Anim. Sci.*, 9, 143-155.

Bonnet M., Cassar -Malek I., Chilliard Y., Picard B., 2010. Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in ruminants and other species. *Animal*, 4 (7), 1093-1109.

Bonnet M., Cassar -Malek I., Delavaud A., Turrett M., Chilliard Y., Picard B., 2008. Développement d'un modèle in vitro de culture d'adipocytes bovins pour étudier les interactions entre adipocytes, myoblastes et fibroblastes. In : Journées Sciences du muscle et technologies des viandes, 8-9 octobre 2008, Tours, Viandes et produits carnés, hors série, 163-164.

Bonnet M., Faulconnier Y., Hocquette J.F., Bocquier F., Leroux C., Martin P., Chilliard Y., 2004. Nutritional status induces divergent variations of GLUT4 protein content, but not lipoprotein lipase activity, between adipose tissues and muscles in adult cattle. *British Journal of Nutrition*, 92 (4), 617-25.

Bonnet M., Leroux C., Faulconnier Y., Hocquette J.F., Bocquier F., Martin P., Chilliard Y., 2000. Lipoprotein lipase activity and mRNA are up-regulated by refeeding in adipose tissue and cardiac muscle of sheep. *Journal of Nutrition*, 130 (4), 749-56.

Bonnet M., Faulconnier Y., Flechet J., Hocquette J.F., Leroux C., Langin D., Martin P., Chilliard Y., 1998. Messenger RNAs encoding lipoprotein lipase, fatty acid synthase and hormone-sensitive lipase in the adipose tissue of underfed-refed ewes and cows. *Reproduction Nutrition Development*, 38 (3), 297-307.

Bonnet M., Faulconnier Y., Leroux C., Jurie C., Cassar -Malek I., Bauchart D., Boulesteix P., Pethick D., Hocquette J.F., Chilliard Y., 2007. Glucose-6-phosphate dehydrogenase and leptin are related to marbling differences among Limousin and Angus or Japanese Black × Angus steers. *Journal of Animal Science*, 85 (11), 2882-2894.

Bonny SPF, Pethick DW, Legrand I, Wierzbicki J, Allen P, Farmer LJ, Polkinghorne RJ, Hocquette J-F and Gardner GE 2016c. European conformation and fat scores haveno relationship with eating quality. *Animal* 10, 996–1006.

Boufaïed, H., Chouinard, P. Y., Tremblay, G. F., Petit, H. V., Michaud, R., Bélanger, G., 2003. Fatty acids in forages. Factors affecting concentrations. *Canadian Journal of Animal Science* 83:501-11.

Bout J., Girard J.P., 1988. Lipides et qualités du tissu musculaire, facteurs de variation. *Journ.Rech. Porcine*, 20, 271-278.

Bozzolo G., Bouillier-Oudot M., de Boisseson E., Ghassan M., Grasset D., 1990. Influence des performances zootechniques sur les caractéristiques des tissus adipeux d'agneaux de bergerie, sevrés précocement et alimentés avec un régime à forte concentration énergétique. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 39 (2), pp.77-94.

Brown, F., 1953. The tocopherol content of farm feeding-stuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 4, 161–165.

C

Calder P.C., 2013. Mechanisms of action of (n-3) fatty acids, *J. Nutr.*, 142, 592S-599S.

Callaway T.R., Carr M.A., Edrington T.S., Anderson R.C., Nisbet D.J., 2009. Diet, *Escherichia coli* 0157:H7, and cattle. A review after 10 years. *Curr Issues Mol Biol.* 11:67-80.

Chaucheyras-Durand F., Madic J., Doudin F., Martin C., 2010. Biotic and abiotic factors influencing in vitro growth of *Escherichia coli* 0157:H7 in ruminant digestive contents. *Appl Environ Microbiol.* 76:640-7.

Chazal P., Dumont R., 1955. La nécessaire révolution fourragère et l'expérience lyonnaise, *Le Journal de la France Agricole*, Paris, 170 p.

Clinquart A., Hornick J.L., Van Eenaeme C., Istasse L., 1998. Influence du caractère culard sur la production et la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu Belge. *Prod. Anim.*, 11, 285-297.

Clinquart A., Demeyer D.I., Casteels M., 1999. La qualité de la viande : du muscle à la viande. In : Clinquart A., Fabry J., Casteels M., *Belgian Association for Meat Science and Technology* (éds), *La viande ?* Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1999, 75-96.

Clinquart A., Leroy B., Dottreppe O., Hornick J.L., Dufrasne I.L., Istasse L., 2000. Les facteurs de production qui influencent la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu belge. In : *L'élevage du Blanc Bleu Belge, Journée du Centre d'Excellence du Secteur agricole et son Management (CESAM)*, 26 mai 2000, Mons, 2000, 19 p.

Coulon J.B., Priolo A., 2002. La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *INRA Prod. Anim.*, 15, 333-342.

D

Daley C.A., Abbot A., Doyle P.S., Nader G.A., Larson S., 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef, *Nutrition J.*, 9, 10.

Damay J., 1981. Contribution à l'étude de la fixation de l'azote par le trèfle blanc, *Trifolium repens* L. : aspects écologiques et agronomiques, Thèse de doctorat, INPL/ENSAIA, Nancy, 121 p.

Davies A., 2001. Competition between Grasses and Legumes in Established Pastures in Competition and succession in pastures, Tow P.G., Lazenby A., *CAB International*, Oxon, pp. 63-83.

Deslandes, B., Gariépy, C., Houde, A., 2001. Review of microbiological and biochemical effects of skatole on animal production. *Livest. Prod. Sci.* 71, 193–200.

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, *Anim. Feed Sci. Techn.*, 131, 168-206.

Diez-Gonzalez F., Callaway T.R., Kizoulis M.G., Russel J.B., 1998. Grain feeding and the dissemination of acid-resistant *Escherichia coli* from cattle. *Science*. 281:1666-8.

De Smet S., Raes K., Demeyer D., 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, EDP Sciences, 53 (2), pp.81-98.

Doreau M., Michalet-Doreau B., 1987. Tourteaux et graines de colza et de tournesol : utilisation digestive par les ruminants. Bull.Tech. CRZV Theix, INRA, 68, 29-39.

Doreau M., Ferlay A., 1994. Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. Anim.Feed Sci. Technol., 45, 379-396.

Doreau M., Demeyer D.I., Van Nevel C.J.,1997. Transformations and effects of unsaturated fatty acids in the rumen. Consequences on milk fat secretion. In: Milk composition, production and biotechnology. Welch R.A.S.,Burns D.J.W., Davis S.R., Popay A.I., Prosser C.G. (Eds). CABI, Oxford, UK, 73-92.

Doreau M., Ueda K., Poncet C., 2003. Fatty acid ruminal metabolism and intestinal digestibility in sheep fed ryegrass silage and hay. Trop. Subtrop. Agroecosyst., 3, 289-293.

Doreau M., Lee M.R.F., Ueda K., Scollan N.D., 2005. Métabolisme ruminal et digestibilité des acides gras des fourrages. Renc. Rech.Rum., 12, 101-104.

Doreau M., Rearte D., Portelli J., PeyraudJ.L., 2007. Fatty acid ruminal metabolism and digestibility in cows fed perennial ryegrass. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 109, 790-798.

Doreau M., Aurousseau E., Martin C., 2009. Effects of linseed lipids fed as rolled seeds,extruded seeds or oil on organic matter and crude protein digestion in cows. Anim. FeedSci. Technol., 150, 187-196.

Duckett S.K., Neel J.P., Lewis R.M., Fontenot J.P., Clapham W.M., 2014. Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. J Anim Sci. 91(3):1454–1467.

Duncan W.R.H., Ørskov E.R., Garton G.A., 1972. Fatty acid composition of triglycerides of lambs fed on barley-based diets. Proc Nutr Soc. 31:19A-20A.

Duncan N.R.H., Garton G.A., 1978. Differences in the proportions of branched-chain fatty acids insubcutaneous triacylglycerols of barley-fed ruminants. Br. J. Nutr., 40, 29-33.

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. In: Indicators of Milk and Beef Quality (J.F. Hocquette, S. Gigli, eds), EAAP Publ., 112, Wageningen Academic Publishers, 137-150.

E

Ellies M.P., 2017. Bovins allaitants. In : Les filières agricoles françaises. Caractéristiques, enjeux, perspectives. Ellies M.P. (Ed). Collection synthèse agricole, Tech et Doc, Lavoisier, Paris, France, 85-118.

Essen-Gustavsson B., Karlsson A., Lundström K., Enfält A. C., 1994. Intramuscular fat and muscle lipid contents in halothane-gene-free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Sci.*, 38, 269-277.

F

Farrugia A., Martin B., Baumont R., Prache S., Doreau M., Hoste H., Durand D., 2008. Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ? *INRA Prod. Anim.*, 21 (2), 181-200A.

Fishell V.K., Aberle E.D., Judge M.D., Perry T.W., 1985. Palatability and muscle properties of beef as influenced by pre-slaughter growth rate. *Journal of Animal Science*, 61, 151-157.

Freestone P.P.E., Haigh R.D., Lyte M., 2007. Specificity of catecholamine-induced growth in *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella enterica* and *Yersinia enterocolitica*. *FEMS Microbiol Lett.* 269:221-8.

G

Gandemer G., 1999. Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, Maillard reaction and flavour. *Sci. Aliments*, 19, 439-458.

Garton G.A., Hovell F.D., Duncan W.R.H., 1972. Influence of dietary volatile fatty acids on the fatty acid composition of lamb triglycerides with special reference to the effect of propionate on the presence of branched chain components. *Brit J Nutr* 28, 409-416.

Gatellier P., Mercier Y., Renner M., 2004. Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat. *Meat Science*, 67 (3), 385-394.

Gatellier P., Hamelin C., Durand Y., Renner M., 2001. Effect of a dietary vitamin E supplementation on colour stability and lipid oxidation of air – and modified atmosphere – packaged beef. *Meat Science*, 59 (2), 133-140.

Gatellier P., Kondjoyan A., Portanguen S., Santé-Lhoutellier V., 2009b. Effect of cooking on protein oxidation in n-3 polyunsaturated fatty acids enriched beef. Implication on nutritional quality. *Meat Science*, 85 (4), 645-650.

Gatellier P., Mercier Y., Juin H., Renner M., 2005. Effect of finishing mode (pasture or mixed-diet) on lipid composition, colour stability and lipid oxidation in meat from Charolais cattle. *Meat Science*, 69 (1), 175-186.

Gatellier P., Mercier Y., Rock E., Renner M., 2000. Influence of dietary fat and vitamin E supplementation on free radical production and on lipid and protein oxidation in turkey muscle extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (5), 1427-1433.

Gatellier P., Santé-Lhoutellier V., 2010. Cuisson et sensibilité à la peroxydation des viandes. In Bauchart D. et Picard P. Muscle et Viande de Ruminant. Versailles, Editions Quae, p197-207.

Geay Y., Bauchart., Hocquette J.F., Culioli J. (2002). Valeur diététique et qualité sensorielle des viandes des ruminants. Incidence de l'alimentation sur les animaux. INRA Productions Animales, 15,35-52.

Gillies, A.R., Lieber, R.L., 2011. Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix. Muscle Nerve 44, 318–331.

Givens D., Gibbs R.A., 2006. Very long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in the food chain in the UK and the potential animal-derived foods to increase intake. Nutr Null. 31:104-10.

Gobert M., Bauchart D., Parafita E., Jailler R., Durand D., 2008. Dietary vitamin E associated with plant polyphenols efficiently protect from lipoperoxidation in processed meats in the finishing bovine given an n-3 PUFA-rich diet. In: Proceedings of the 54th International Congress of Meat Science and Technology, 10-15 août, Le Cap, Afrique du Sud, 3A4 (RSA).

Gobert M., Gruffat D., Habeanu M., Parafita E., Bauchart D., Durand D., 2010. Plant extracts combined with vitamin E in PUFA-rich diets of cull cows protect beef against lipid oxidation. Meat Science, 85, 676-683.

Gobert M., Bourguet C., Terlouw C., Deiss V., Berdeaux O., Comte B., Gruffat D., Bauchart D., Durand D., 2009. Pre-slaughter stress and lipoperoxidation: protective effect of vitamin E and plant extracts rich in polyphenols given to finishing cattle. In: Proceedings of the 11th International Symposium on Ruminant Physiology, 6-9 septembre 2009, Clermont-Ferrand, France, 814-815.

Gondret F., Hocquette J.F., 2006. La teneur en lipides de la viande : une balance métabolique complexe. INRA Prod. Anim., 19, 327-338.

Gregory M.E., Ford J.E., Konsk K., 1958. The B-vitamin content of milk in relation to breed of cow and stage of lactation, J. Dairy Res., 25, 447-456.

Gruffat D., Remond C., Durand D., Loreau O., Bauchart D., 2008. 9cis, 11trans conjugated linoleic acid (CLA) is synthesised and desaturated into conjugated 18:3 in bovine adipose tissues. Animal, 2 (4), 645-652.

Gruffat D., De La Torre A., Chardigny J.M., Durand D., Loreau O., Bauchart D., 2005. Vaccenic acid metabolism in the liver of rat and bovine. Lipids, 40 (3), 295-301.

Grunert, K., L. Bredahl and K. Brunso, 2004. 'Consumer Perception of Meat Quality and Implications for Product Development in the Meat Sector – A Review'. Journal of Meat Science 66, 259-272.

Guckert A., Damat J., Treillet L., Balandreau J., Bardin R., Chalamet A., 1983. Etude au champ de la fixation d'azote par le trèfle blanc (*Trifolium repens* L.), Fourrages, n°94, pp. 61-86.

Guillemain, N., Cassar-Malek, I., Hocquette, J. F., Jurie, C., Micol, D., Listrat, A., Leveziel, H., Renand, G. et Picard, B., 2009. La maîtrise de la tendreté de la viande bovine: Identification de marqueurs biologiques. INRA Productions Animales 22 (4): 331-344.

H

Hashizume T., Santo H., Tsujisawa H., Kosaka K., Ozawa T., Yamashita M., Kinae N., 1991. Mutagenic activities of tryptophan metabolites before and after nitrite treatment. Food Chemistry and Toxicology, 29 (3), 839-844.

Herriott D.E., Hancock D.D., Ebel E.D., Carpenter L.V. Rice D.H., Besser T.E., 1998. Association of herd management factors with colonization of dairy cattle by Shiga toxin-positive *Escherichia coli* 0157. J Food Prot. 61:802-7.

Hjarde, W., Hellström, V. and Åkerberg, E., 1963. The contents of tocopherol and carotene in red clover as dependent on variety, conditions of cultivation and stage of development. Acta Agriculturae Scandinavica 13, 3–16.

Hoch T., Begon C., Cassar-Malek I., Picard B., Savary-Auzeloux I., 2003. Mécanismes et conséquences de la croissance compensatrice chez les ruminants. INRA Prod. Anim., 16, 49-59.

Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Jurie C., Bauchart D., Picard B., Renand G., 2015. Relation entre le potentiel de croissance musculaire, la teneur en gras intramusculaire et les caractéristiques des fibres musculaires chez le taurillon Charolais. In : Viandes et Produits Carnés, VPC-2015-31-4-2.

Hocquette J.F., Cassar-Malek I., Listrat A., Jurie C., Jailler R., Picard B., 2005. Evolution des recherches sur le muscle des bovins et la qualité sensorielle de leur viande. Vers une meilleure connaissance de la biologie musculaire. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 3, mai-juin 2005

Hocquette J.F., Ortigues-Marty I., Damon M., Herpin P., Geay Y., 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. INRA Prod. Anim., 13, 185-200.

Hocquette J.F., Abe H., 2000. Facilitative glucose transporters in livestock species. Reproduction Nutrition Development, 40, 517- 533.

Hocquette J.F., Bauchart D., 1999. Intestinal absorption, blood transport and hepatic and muscle metabolism of fatty acids in preruminant and ruminant animals. Reproduction - Nutrition Development, 39 (1), 27-48.

Hocquette J.F., Ortigues -M arty I., Pethick D., Herpin P., Fernandez X., 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livestock Production Science*, 56 (2), 115-143.

Hocquette J.F., Renand G., Levéziel H., Picard B., Cassar -Malek I., 2006a. The potential benefits of genetics and genomics to improve beef quality – a review. *Animal Science Papers and Reports*, 24 (3) 173-189.

Hocquette J.F., Gondret F., Baeza E., Medale F., Jurie C., Pethick D.W., 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal*, 4 (2), 303-319.

Hocquette J.F., Jurie C., Picard B., Alberti P., Panea B., Christensen M., Failla S., Gigli S., Levéziel H., Olleta J.L., Sanudo C., Erbjerg P., Nute G.R., Williams J.L., 2007. Metabolic and contractile characteristics of Longissimus thoracis muscle of young bulls from 15 European breeds in relationship with body composition. *Energy and Protein Metabolism and Nutrition*, (124), 111-112.

Hoffman, L., M. Muller, S. Cloete, and D. Schmidt. 2003. Comparison of six crossbred lamb types: sensory, physical and nutritional meat quality characteristics. *Meat Science* 65:1265-1274.

Hoffmann, M. and Nehring, K., 1967. Carotinuntersuchungen an futterpflanzen. 4. Carotingehalt und -ertrag verschiedener futterstoffe in abhängigkeit vom vegetationsstadium. *Archiv für Tierernährung* 17, 451–461.

Hornick J.L., Raskin P., Clinquart A., Dufrasne I., Van Eenaeme C., Istasse L., 1998a. Compensatory growth in Belgian Blue bulls previously grazed at two stocking rates: animal performance and meat characteristics. *Animal Science*, 67, 427-434.

Hornick J.L., Van Eenaeme C., Clinquart A., Diez M., Istasse L., 1998b. Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue bulls: I. Animal performance, nitrogen balance meat characteristics, and fat composition. *Joournal of Animal Science*, 76, 249-259.

Hornick J.L., Van Eenaeme C., Clinquart A., Gerard O., Istasse L., 1999. Different modes of food restriction and compensatory growth in double-musced Belgian Blue bulls: animal performance, carcass and meat characteristics. *Animal Science*, 69, 563-572.

Hornick J.L., Van Eenaeme C., Gerard O., Dufrasne I., Istasse L., 2000. Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology*, 19, 121-132

Husain S., Hadi S.M., 1995. Strand scission in DNA induced by L-DOPA in the presence of Cu (II). *Febs Letters*, 364 (1), 75-78.

K

Koohmaraie M., Geesink G.H., 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 74 (2006) 34–43.

Kuypers, R., Kurth, L., 1995. Collagen's contribution in meat texture. In : CSIRO Meat Industry Research Center. 11B, 1-8.

L

Larick D.K., Hedrick H.B., Bailey M.E., Williams J.E., Hancock D.L., Garner G.B., Morrow R.E., 1987. Flavor constituents of beef as influenced by forage and grain feeding. *J. Food Sci.*, 52, 245-251

Leconte D., 1985. Etude de la croissance du trèfle blanc, *Fourrages*, n°103, pp. 55-69.

Listrat A., Lebreton B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs ? *INRA Productions Animales*, Paris: INRA, 2015, 28 (2), pp.125-136. hal-01211001v2.

Listrat A., Picard B., Geay Y., 1998. Age-related changes and location of type I, III and IV collagens during skeletal muscle development of double-muscled and normal bovine fetuses. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 19(1), 1-14.

Listrat A., Picard B., Geay Y., 1999. Age-related changes and location of type I, III, IV, V and VI collagens during development of four foetal skeletal muscles of double-muscled and normal bovine animals. *Tissue and Cell*, 31 (1), 17-27.

Listrat A., Jean D., Gautier E., Caterson B., Picard B., Lethias C., Béchet D., 2008. Differential expression of the extra cellular matrix components during foetal muscle development. In: *Proceedings of the XXIst Meeting of the Federation of the European Connective Tissue Societies (FECTS)*, 9-13 juillet, Marseille, France.

Listrat A., Pissavy A.-L., Jurie C., Lethias C., Pethick D.W., Hocquette J.-F., 2006. The relationship between collagen characteristics in muscle and marbling of beef. In: *International Congress of Meat Science and Technology*, 13-18 août, Dublin, Irlande, 261-262.

Lebreton B., Prache S., Berri C., Lefèvre F., Bauchart D., Picard B., Corraze G., Medale F., Faure J., Alami-Durante H., 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. In : *Numéro spécial, Le muscle et la viande*. Picard B., Lebreton B. (Eds). *INRA Prod. Anim.*, 28, 151-168.

Listrat A., Lebreton B., Louveau I., Astruc L., Bonnet M., 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs ?. INRA Productions Animales, INRA Editions, 28 (2), pp.125-136

Lourenço, M. 2007. Influence of forages on the fatty acid composition of rumen digesta and ruminant milk and meat. Ph.D. dissertation, Ghent University, Ghent, 202p.

M

Melton S.L., Black J.M., Davis G.W., Backus W.R., 1982. Flavor and selected chemical components of ground beef from steers backgrounded on pasture and fed corn up to 140 days. J. Food Sci., 47, 699-704.

Melton S.L., 1990. Effects of feeds on flavor of red meat: a review. J. Anim. Sci., 68, 4421-4435.

Micol D., Jurie C., Hocquette J.F., 2010. Qualités sensorielles de la viande bovine. Impacts des facteurs d'élevage ? In : Muscle et viande de ruminants. Editions Quae, Versailles, France. 163-172.

Min, B.R., Barry, T.N., Attwood, G.T., McNabb, W.C., 2003. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. Anim. Feed Sci. Technol. 106, 3-19.

Molfino A., Gioia G., Fanelli F., Muscaritoli M., 2014. The Role for Dietary omega-3 Fatty Acids Supplementation in older Adults, Nutrients, 6 (10), 4058-4072.

Monin G., 1988. Evolution post-mortem du tissu musculaire et conséquences sur les qualités de la viande de porc. Journ. Rech. Porcine, 20, 201-214

Morzel M., Gatellier P., Sayd T., Renner M., Laville E., 2006. Chemical oxidation decreases proteolytic susceptibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. Meat Science, 73 (3), 536-543.

N

Nakajima, I., Yamaguchi, T., Ozutsumi, K. et Aso, H., 1998. Adipose tissue extracellular matrix: newly organized by adipocytes during differentiation. Differentiation, 63, 193.

Nishiumi, T., 1999, Intramuscular connective tissue: its relation to meat texture and postmortem alterations. In Nishiumi, T. Ed, Recent Research Developments in Agricultural & Food Chemistry, 3, 159-179.

Nishimura, T., Hattori, A., & Takashashi, K. (1995). Structural weakening of intramuscular connective tissue during conditioning of beef. *Journal of Meat Science*, 39, 127–133.

Normand J., Bas O., Berthelot V., Sauvant D., 2005. Relationships between fatty acid composition and softness score of adipose tissues in intensively reared lambs fed with concentrate based on cereals or on beet pulp. *Anim Res.* 54:269-82.

Normand J., Bas P., Gouedard A., Pottier E., Aurousseau B., Matray M. et al., 1997. Fermeté et composition des tissus adipeux sous-cutanés chez l'agneau de bergerie : effets du sexe, de l'alimentation et de l'origine paternelle. *Rencontres Recherche Ruminants*. 4:303-6.

Nösberger J., 1983. Quelques aspects de la biologie et de la physiologie du trèfle blanc, *Fourrages*, n°94, pp. 49-59.

Nozière P., Graulet B., Lucas A., Martin B., Grolier P., Doreau M., 2006. Carotenoids in ruminants : From forages to dairy products, *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 418-450.

NRC, 1989. Nutrient Requirements of Domestic Animals: Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6th edn. National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, pp. 42–49.

O

Ouali A, Sentendrau M.A., Aubry L., Farias-Maffet G., 2005. Meat toughness as affected by muscle type. In: *Indicators of milk and beef quality*.

Ouali A., 1992. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie*, 1992, 74, 251-265.

Oury M.P., Picard B., Briand M., Blanquet J.P., Dumont R., 2009. Interrelationships between meat quality traits, texture measurements and physicochemical characteristics of M. Rectus Abdominis from Charolais Heifers. *Meat Science*, 83 (2), 293-301.

P

Palmquist D.L., 2009. Omega-3 fatty acids in the metabolism, health, and nutrition and for modified animal products foods. *Prof Anim. Scient.* 25:207-49.

Patterson E., Wall R., Fitzgerald G.F., Ross R.P., Stanton C., 2012. Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated Fatty acids», *J. of Nutrition and Metabolism*, 539426.

Peterson, D.G., Reineccius, G.A., 2003. Characterisation of the volatile compounds that constitute fresh sweet cream butter aroma. *Flavour Fragr. J.* 18, 215–220.

Picard B. et Micol D., 2018. Qualités sensorielles de la viande bovine. In Berthelot V. Alimentation des animaux et qualités de leurs produits. Paris, Editions Lavoisier, p253-262.

Ponnampalam E.N., Mann N.J., Sinclair A.J., 2006. Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts: potential impact on human health. *Asia Pac J Clin Nutr.* 15(1):21-9.

Prache S., Thériez M., 1988. Production d'agneaux à l'herbe. *INRA Prod. Anim.*, 1, 25-33.

Prache S., Aurousseau B., Thériez M., Renerre M., 1990. Les défauts de couleur du tissu adipeux sous-cutané des carcasses d'ovins. *INRA Prod. Anim.*, 3, 275-285.

Prache, S., Priolo, A. and Grolier, P., 2003a. Effect of concentrate finishing on the carotenoid content of perirenal fat in grazing sheep: Its significance for discriminating grass-fed, concentrate-fed and concentrate-finished grazing lambs. *Anim. Sci.* 77, in press.

Prache, S., Priolo, A. and Grolier, P., 2003b. Persistence of carotenoid pigments in the blood of concentrate-finished grazing sheep: Its significance for the traceability of grass feeding. *J. Anim. Sci.*, 81: 360-367.

Prache, S., Priolo, A., Tournadre, H., Jailler, R., Dubroeuq, H., Micol, D. and Martin, B., 2002.

Traceability of grass feeding by quantifying the signature of carotenoid pigments in herbivores meat, milk and cheese. In Proc. 19th General Meeting of the European Grassland Federation, La

Rochelle, France, 27-30 May 2002, J.L. Durand, J.C. Emile, C. Huyghe and G. Lemaire (eds). AFPF, pp. 592-593.

Prache, S. and Theriez, M. (1999). Traceability of lamb production systems: Carotenoids in plasma and adipose tissue. *Anim. Sci.* 69: 29-36.

Prache S., Martin B., Nozière P., Engel E., Besle J.M., Ferlay A., Micol D., Cornu A., Cassar-Malek I., Andueza D., 2007. Authentification de l'alimentation des ruminants à partir de la composition de leurs tissus et produits. *INRA Prod. Anim.*, 20, 295-308.

Prache S., Gatellier P., Thomas A., Picard B., Bauchart D., 2011. Comparison of meat and carcass quality in organically-reared and conventionally-reared pasture-fed lambs. *Animal*, 5, 2001-2009.

Prache S., 2014. Advances, issues and challenges in organic lamb meat quality. In: Organic farming, Prototype for Sustainable Agricultures, Bellon S., Penvern S. (Eds), Springer, Netherlands. 313-324.

Prache S., Bauchart D., 2015. La viande et la carcasse des agneaux : les principales qualités recherchées. In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). INRA Prod. Anim., 28, 105-110.

Priolo A., Micol D., Agabriel J., 2001. Effects of grass fee-ding systems on ruminant meat color and flavour. A review. Anim. Res., 50, 185-200.

Priolo A., Micol D., Agabriel J., Prache S., Dransfield E., 2002. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. Meat Sci., 62, 179-185.

Purslow P., 2005. Intramuscular connective tissue and its rôle in meat quality. Meat Science : Volume 70, Issue 7, July 2005, 435-447.

R

Reardon T.F., Lambourne L.J., 1966. Early nutrition and lifetime reproductive performance of ewes. Proceedings of the Australian Society of Animal Production, 6, 106-108.

Reinstein S., Fox J.T., Shi X., Alam M.J., Renter D.G., Nagaraja T.G., 2009. Prevalence of *Escherichia coli* 0157:H7 in organically and naturally raised beef cattle. Appl. Environ. Microbiol. 75:5421-3.

Rémond D., 2018. Qualités nutritionnelles de la viande bovine. In : Berthelot V. Alimentation des animaux et qualités de leurs produits. Paris, Editions Lavoisier Tech et Doc, p233-241.

Rémond D., Duchène C., Bax M.L., Hafnaoui N., Oberli M., Santé-Lhoutellier V. et al., 2014. Les trois points forts des protéines de la viande : composition en acides aminés, digestibilité et vitesse de digestion. 15^{Es} Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Clermont-Ferrand. Viandes et Produits Carnés (Hors-série).

Rémond D., Peyron M.A., Savary-Auzeloux I., 2010. Viande et nutrition protéique. In : Picard B., Bauchard D. Muscle et viande de ruminants. Versailles, Editions Quae, p255-266.

Renner M., 1990. Review : factors involved in the discoloration of beef meat. International Journal of Food Science and Technology, 25, 613-630.

Renner M., 1987. Influence du mode de conditionnement sur la couleur de la viande. Viandes et produits carnés, 8 (2), 47-50.

Renner M., 2002. Les oxydations lipidiques dans la viande. Actes des 9 es Journées Sciences du muscle et technologies de la viande, 15-16 octobre, Clermont-Ferrand, S8.

Renner M., Labadie J., 1993. Review: fresh meat packaging and meat quality. In: Proceedings of the 39th International Congress of Meat Science and Technology, Calgary, Canada, 361-387.

Renner M., Labas R., 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. *Meat Science*, 19, 151-165.

Renner M., Mazuel J.P., 1985. Relations entre méthodes de mesures instrumentales et sensorielles de la couleur de la viande. *Sciences des aliments*, 5, 541-557.

Renner M., Dumont F., Gatellier P., 1996. Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipid and myoglobin. *Meat Science*, 43 (2), 111-116.

Rode, L.M., McAllister, T.A. and Cheng, K.J., 1990. Microbial degradation of vitamin A in rumen fluid from steers fed concentrate, hay or straw diets. *Canadian Journal of Animal Science* 70, 227-233.

Ross, R. et Bornstein, P., 1969. The elastic fiber: I. The Separation and Partial Characterization of its Macromolecular Components. *J. Cell Biol.* , 40, 366-381.

Rostagno M.H., 2009. Can stress in farm animals increase food safety risk ? *Foodborne Pathog Dis.* 6:767-76.

Rousset-Akrim S., Young O.A., Berdague J.L., 1997. Diet and growth effects in panel assessment of sheepmeat odour and flavour. *Meat Science* 45: 169-181.

Rowe, R. W. D., 1986. Elastin in bovine Semitendinosus and Longissimus dorsi muscles. *Meat Sci.* , 17, 293-312.

S

Santé - Lhoutellier V., Engel E., Gatellier P., 2008c. Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chemistry*, 109 (3), 573-579.

Santé -Lhoutellier V., Engel E., Aubry L., Gatellier P., 2008b. Effect of animal (lamb) diet and meat storage on myofibrillar protein oxidation and in vitro digestibility. *Meat Science*, 79 (4), 777-783.

Santé -Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier P., 2008a. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (4), 1488-1494.

Salter A.M., 2013. Dietary fatty acids and cardiovascular disease, *Animal*, 7, 163-171.

Scerra M., Luciano G., Caparra P., Foti F., Cilione C., Giorgi A., Scerra V., 2011. Influence of stall finishing duration of Italian Merino lambs raised on pasture on intramuscular fatty acid composition. *Meat Science* 89 (2011) 238-242

Scollan N.D., Hocquette J.F., Nuernberge K., Dannenberger D., Richardson I., Moloney A., 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationships with meat quality. *Meat Sci.* 74:17-33.

Schreurs N.M., 2013. Effect of different herbage mixes on lamb meat quality. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 2013. Vol 73: 65-67

Schreurs N.M., 2013. Comparison of castrate and entire ram-lambs for meat quality and skatole in the fat. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 2013. Vol 73: 68-70

Schreurs N.M., Lane G.A., Tavendale M.H., Barry T.N., McNabb W.C., 2008. Pastoral flavour in meat products from ruminants fed fresh forages and its amelioration by forage condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology* 146: 193–221.

Schreurs N.M., McNabb W.C., Tavendale M.H., Lane G.A., Barry T.N., Cummings T., Fraser K., López- Villalobos N., Ramírez-Restrepo C.A., 2007. Skatole and indole concentration and the odour of fat from lambs that had grazed perennial ryegrass/white clover pasture or *Lotus corniculatus*. *Animal Feed Science and Technology* 138: 254–271.

Sentandeu M.A., Coulis G. et Ouali A., 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends Fd. Sci. Technol.* 13(12), 400-21.

Soltner D., 2016. Les grandes productions végétales, 19 e édition, Editions Sciences et techniques agricoles, Bressuire, 464 p.

Solner D., 2016. Alimentation des animaux domestiques, tome 2, 21 e édition, Editions Sciences et techniques agricoles, Bressuire, 272 p.

T

Tavendale, M.H., Lane, G.A., Schreurs, N.M., Fraser, K., Meagher, L.P., 2005. The effects of condensed tannins from *Dorycnium rectum* on skatole and indole ruminal biogenesis for grazing sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 56, 1331–1337.

Tavendale, M.H., Pacheco, D., Lane, G.A., Fraser, K., Death, A.F., Burke, J.L., Hickey, M.J., Cosgrove, G.P., 2006. the effects of ryegrass varieties differing in soluble sugar content on the rumen fermentation of amino acids and consequences for milk flavour chemistry. *Proc. NZ Grassland Assoc.* 68, 261–265.

Touraille C., 1994. Influence of muscle characteristics on sensory properties of meat. In : *Renc. Rech. Ruminants*, 1994,1, 169 - 176

V

- Van der Rest M. et Garonne R., 1991. Collagène family of proteins. *FASEB J.* 5: 2814-2823.
- Van Elswyk M.E., McNeill S.H., 2014. Impact of grass/forage feeding versus grain finishing on beef nutrients and sensory quality: The U.S. experience. *Meat Science* 96 (2014) 535–540
- Vestergaard M., Therkildsen M., Henckel P., Jensen L.R., Sejrsen K., 1999. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre, fragmentation and meat tenderness. *Meat Sci.* 54:187-96.
- Vilain M., 1997. La production végétale – Volume 1 : Les composantes de la production, 3^{ème} édition, Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 478 p.
- Voisin A., 1957. Productivité de l’herbe, La maison rustique, Paris, 467 p.
- Voisin A., 1959. Sol, herbe, cancer, La maison rustique, Paris, 297 p.
- Voisin A., 1960. Dynamique des herbages - Devons nous retourner nos prairies pour les améliorer ?, La Maison rustique, Paris, 319 p.

W

- Weiss, W.P., Smith, K.L., Hogan, J.S. and Steiner, T.E., 1995. Effect of forage to concentrate ratio on disappearance of vitamins A and E during in vitro ruminal fermentation. *Journal of Dairy Science* 78, 1837–1842.
- Wolter R., 1988. Alimentation vitaminique. In: Jarrige, R. (ed.) Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA, Paris, pp. 113–120.
- Wong, E., Johnson, C.B., Nixon, L.N., 1975. The contribution of 4-methyloctanoic (hircinoic) acid to mutton and goat meat flavour. *NZ J. Agric. Res.* 18, 261–266.
- Wood J. D., Enser M., Fisher A. V., Nute G. R., Sheard P. R., Richardson R. I., Hughes S. I., Whittington F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* (2008);78:343–358.

Y

- Young O.A., Lane G.A., Podmore C., Fraser K., Agnew M.J., Cummings T.L. et Cox N.R., 2006. Changes in composition and quality characteristics of ovine meat and fat from castrates and rams aged to 2 years, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49:4, 419-430.

Young O.A., Lane G.A., Priolo A., Fraser K., 2003. Pastoral and species flavour in lambs raised on pasture, lucerne or maize. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 93–104.

Young, O.A., Baumeister, B.M.B., 1999. The effect of diet on the flavour of cooked beef and the odour compounds in beef fat. *NZ J. Agric. Res.* 42, 297–304.

Young, O.A., Berdaguè, J.L., Viallon, C., Rousset-Akrim, S., Theriez, M., 1997. Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. *Meat Sci.* 45, 183–200.

Young, O.A., Cruickshank, G.J., MacLean, K.S., Muir, P.D., 1994. Quality of meat from lambs grazed on seven pasture species in Hawkes Bay. *NZ J. Agric. Res.* 37, 177–186.