



Quels facteurs d'élevage influent sur le dépôt de persillé dans la viande bovine ?

Synthèse bibliographique sur les leviers utilisables par les éleveurs, afin d'accroître le niveau de persillé des carcasses bovines.

Mots-clés : persillé, gras intramusculaire, viande bovine, pratiques d'élevage, alimentation, finition

Auteurs : Aubert Nicolazo de Barmon¹, Isabelle Legrand¹, Jérôme Normand¹, Isabelle Cos¹, Pauline Madrange², Christophe Denoyelle¹

¹ Service Qualité des carcasses et des viandes, Institut de l'Élevage

² Service Productions de viandes, Institut de l'Élevage

Coordonnées de l'auteur correspondant : Aubert.NicolazoDeBarmon@idele.fr

Cette synthèse bibliographique permet de confirmer l'impact sur le persillé de certains facteurs d'élevage déjà bien connus (type d'animal, niveau énergétique, durée de finition) et de recenser d'autres facteurs étudiés jusqu'à présent sur races précoces dans les pays anglo-saxons.

Résumé :

La filière viande bovine française a connu une amélioration des performances bouchères des animaux ces 40 dernières années, tout en réduisant l'adiposité des carcasses, et par voie de conséquence le niveau de persillé des viandes. L'importance d'une infiltration de gras dans la viande, ou « persillé », a récemment été de nouveau démontrée pour des raisons liées à la qualité organoleptique de la viande. INTERBEV (l'interprofession française du bétail et des viandes) en a ainsi fait un axe d'amélioration de la qualité de la viande bovine dans le cadre de son plan de filière afin d'améliorer la qualité sensorielle de la viande proposée aux consommateurs. Cependant, les leviers activables en élevage pour produire des viandes persillées mériteraient d'être mieux connus en France. Le présent travail bibliographique entend faire un point le plus exhaustif possible sur les facteurs d'élevage liés à l'animal ou à l'alimentation qui permettent d'améliorer le dépôt de persillé dans les viandes bovines.

Abstract: What rearing factors influence marbling in beef?

In the last 40 years, the French bovine meat value chain improved bovine carcass performances, reducing the amount of adipose tissue and therefore marbling of meat. The importance of fat infiltration in meat for organoleptic quality has been once again recently proved. Thus, marbling is a research axis of INTERBEV (the French bovine meat interbranch organisation) in order to improve meat quality for consumers. Nevertheless, rearing factors impacting marbling level in meat have been poorly studied in France. The objective of this review is to identify breeding factors linked to animal or feeding which could enhance marbling level of bovine meat.

INTRODUCTION

A la fin de la seconde guerre mondiale, l'agriculture française s'est tournée vers la production quantitative de protéines animales et végétales afin de subvenir aux besoins importants de la population (Flamant, 2010). Dans ce contexte, la filière bovine s'est mobilisée pour produire davantage de viande. La sélection génétique a notamment permis d'améliorer les performances bouchères des animaux et par voie de conséquence de réduire l'adiposité globale des carcasses (Hocquette *et al.*, 2015).

La situation a ensuite nettement évolué puisque la consommation de viande par habitant, qui augmentait depuis les années 70, a commencé à reculer à partir des années 2000 (Tavoularis et Sauvage, 2018). En effet, entre 2008 et 2018, la consommation de produits carnés a diminué de 12% en France (Tavoularis et Sauvage, 2018). Une qualité organoleptique parfois décevante ou irrégulière de la viande fait partie des multiples facteurs explicatifs de ce phénomène (Tavoularis et Sauvage, 2018 ; Legrand *et al.*, 2016).

Face à ce constat, INTERBEV a élaboré un plan de filière en 2017, dans le cadre des Etats généraux de l'Alimentation, afin notamment de mieux répondre aux attentes des consommateurs. L'amélioration de la qualité

gustative des viandes constitue l'un des objectifs visés (Interbev, 2017). Or, il est établi qu'une infiltration de gras dans la viande, appelée persillé, permet d'augmenter les niveaux de satisfaction des consommateurs grâce à une amélioration de la saveur, de la jutosité et de la tendreté de la viande (Hocquette *et al.*, 2009 ; O'Quinn *et al.*, 2012 ; Normand *et al.*, 2017). La filière bovine, par l'intermédiaire d'INTERBEV, a donc décidé d'approfondir l'étude de ce sujet. Dans ce contexte, actualiser les conseils à donner aux éleveurs afin d'améliorer les dépôts de persillé des carcasses produites s'avère pertinent.

Le présent article est le fruit d'une recherche bibliographique réalisée dans le cadre de 2 projets menés par l'Institut de l'Élevage, « Stratégie de pilotage du persillé » financé par INTERBEV et « PRECOBEEF » financé par APIS-GENE.

Cette synthèse bibliographique s'intéresse à l'ensemble des facteurs d'élevage susceptibles d'impacter le dépôt de persillé. Les « nouveaux » facteurs, jusqu'à présent méconnus dans la littérature, sont particulièrement détaillés. Les phénomènes permettant le dépôt de persillé seront abordés dans un premier temps (i), suivis des facteurs alimentaires (ii) et des facteurs liés à l'animal (iii).

I. LE GRAS INTRAMUSCULAIRE : QUELQUES BASES PHYSIOLOGIQUES

Le gras intramusculaire correspond à l'ensemble des dépôts lipidiques présents au sein du muscle. On distingue deux catégories de lipides : les lipides des membranes cellulaires (essentiellement des phospholipides) et les lipides de stockage (une majorité de triglycérides). C'est cette dernière catégorie de gras qui est principalement étudiée dans cet article, puisqu'elle constitue la plupart du temps la fraction majoritaire des dépôts lipidiques intramusculaires et qu'elle est variable contrairement aux lipides des membranes. Ce dépôt adipeux est constitué d'adipocytes, cellules spécialisées qui accumulent des lipides dans leur vacuole. Les adipocytes qui composent le

persillé se situent entre les fibres musculaires et le plus souvent à proximité des vaisseaux sanguins (Harper et Pethick, 2001 ; Harper, 2003). Ils sont en général de tailles assez petites (50 à 150 μm) et doivent former des « îlots » contenant au moins 10 à 15 cellules pour être visibles à l'œil nu (Robelin 1981 ; Harper, 2003). La mesure de ce dépôt peut s'effectuer grâce à une analyse chimique qui permet de doser la teneur en lipides totaux. Elle peut être aussi approchée à l'aide d'une notation visuelle du persillé, par un opérateur à l'aide d'une grille à l'instar de ce qui est fait aux USA, au Japon ou encore en Australie.

I.1. Les intérêts du persillé

L'accumulation de ce dépôt adipeux a un impact important sur la qualité organoleptique de la viande bovine. En effet, des travaux montrent qu'à l'aveugle, les consommateurs préfèrent les viandes persillées aux viandes maigres, tant en France (Normand *et al.*, 2017) qu'à l'étranger (O'Quinn *et al.*, 2012). La présence de gras intramusculaire permet d'améliorer la saveur (Harper *et al.*, 2003 ; Choi *et al.*, 2019), la jutosité (Harper *et al.*, 2003 ;

Choi *et al.*, 2019) et indirectement la tendreté (Harper *et al.*, 2003 ; Li *et al.*, 2006 ; Coibion *et al.*, 2008 ; Choi *et al.*, 2019) de la viande, via notamment un effet « lubrifiant » lors de la mastication. Néanmoins, l'excès de gras visible est préjudiciable lors de l'acte d'achat. Les consommateurs ont effectivement tendance à ne pas choisir les morceaux excessivement gras les jugeant rebutants (Normand *et al.*, 2017).

I.2. La formation du persillé

C'est grâce à la succession de deux phénomènes, l'hyperplasie et l'hypertrophie, que le gras intramusculaire devient progressivement visible à l'œil nu (Figure 1) (Pethick et Harper, 2001 ; Park *et al.*, 2018).

L'hyperplasie correspond aux multiplications cellulaires qui permettent d'augmenter le nombre d'adipocytes. Comme montré sur la Figure 1, cette multiplication comporte deux étapes : la prolifération et la différenciation.

La prolifération est la multiplication cellulaire qui augmente le nombre de pré-adipocytes (Du *et al.*, 2010 ; Park *et al.*, 2018). La différenciation, quant à elle, transforme ces pré-adipocytes en adipocytes matures grâce à une augmentation du contenu lipidique dans la vacuole (Figure 1) (Harper *et al.*, 2003 ; Park *et al.*, 2018). L'adipocyte résultant de cette étape est une cellule différenciée qui ne pourra pas revenir à l'état précédent (pré-adipocyte). L'hyperplasie se déroule

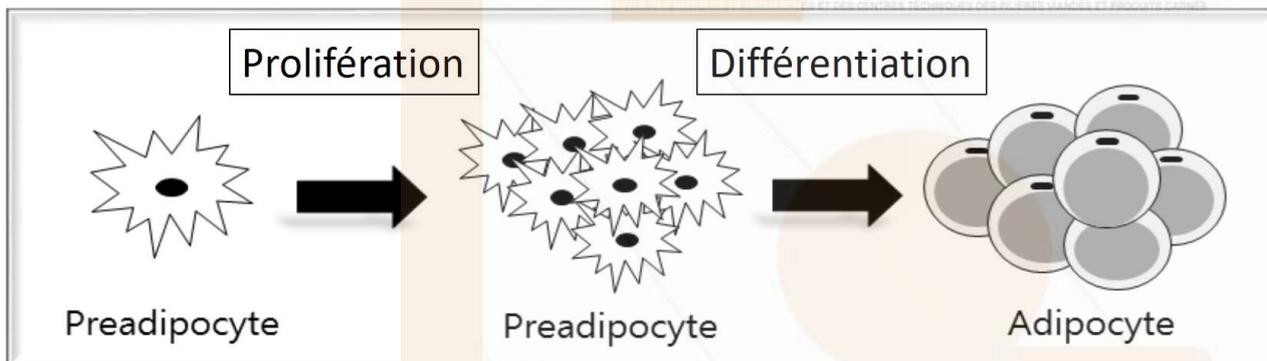
majoritairement entre la deuxième moitié de la gestation et 250 jours de vie (Du *et al.*, 2010 ; Du *et al.*, 2013 ; Ahola, 2016).

Comme l'illustre la Figure 1, le deuxième phénomène est l'hypertrophie, une phase permettant à l'adipocyte

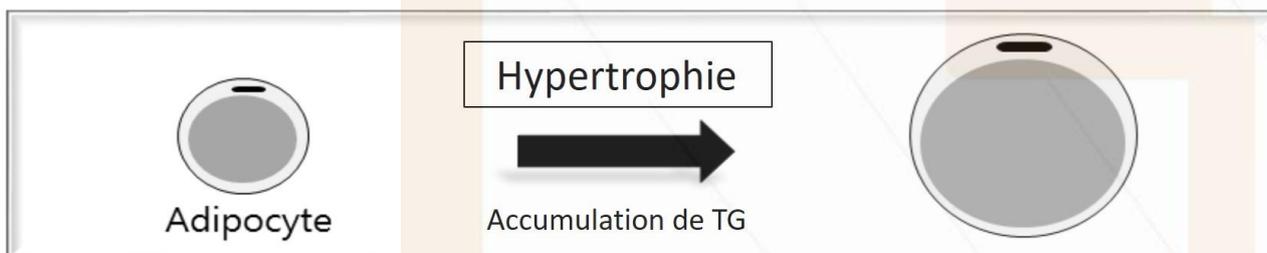
d'accumuler du contenu lipidique dans sa vacuole et ainsi d'augmenter sa taille. Elle se déroule essentiellement pendant l'engraissement de l'animal (Du *et al.*, 2010 ; Du *et al.*, 2014).

Figure 1 : Schéma représentant les deux étapes de formation du persillé (d'après Park *et al.*, 2018)

Hyperplasie : augmentation du nombre de cellules adipeuses



Hypertrophie : augmentation de la taille des cellules adipeuses



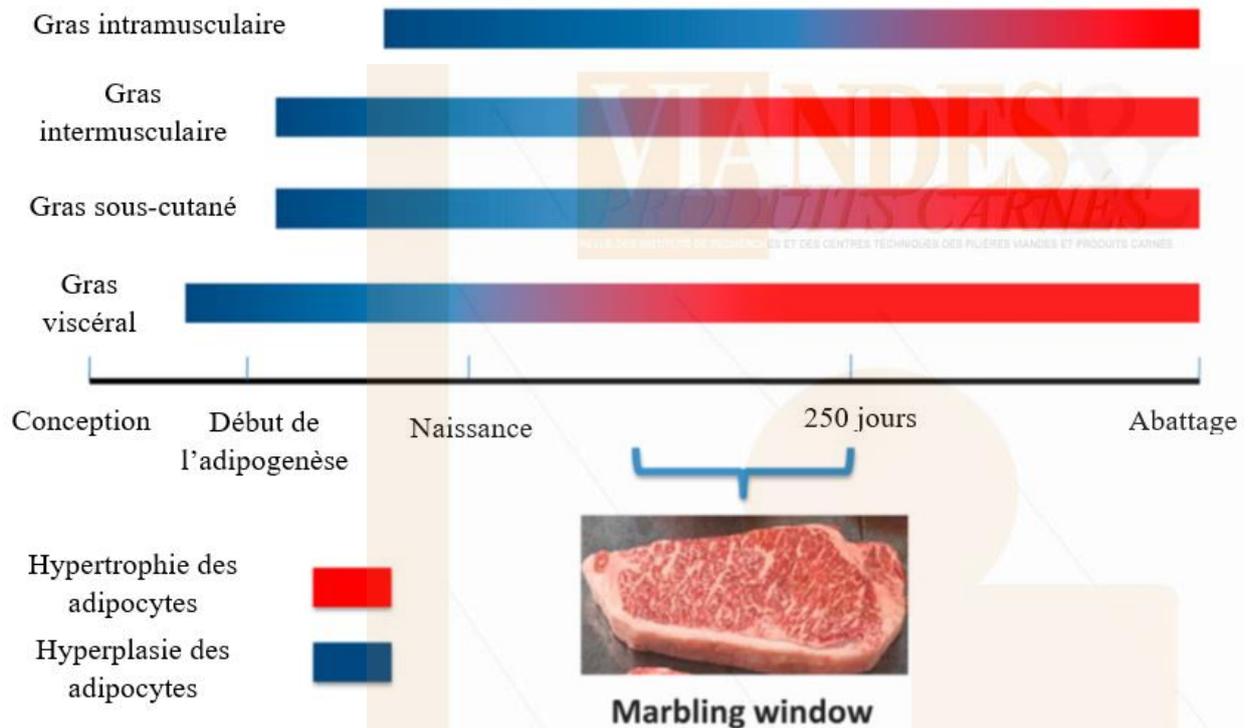
I.3. La cinétique de dépôts des différents types de gras

Grâce à des abattages et dissections à différents âges, des scientifiques ont déterminé l'ordre chronologique de dépôt apparent des différents types de gras du bovin : gras interne pour commencer, puis gras intermusculaire, gras de couverture et enfin gras intramusculaire (Vernon *et al.*, 1981 ; Robelin et Casteilla 1990). Il est important de signaler qu'il s'agit d'un ordre de dépôt apparent et non d'une étude au niveau cellulaire. Cet ordre de dépôt théorique ne semble pas toujours correspondre avec certaines observations effectuées sur le terrain. En effet, partant de ce que constatent ces scientifiques, il faudrait que les animaux déposent d'abord différents types de gras (interne, intermusculaire et de couverture) pour déposer du persillé. Par conséquent, les carcasses les plus persillées devraient également présenter plus de dépôts des autres types de gras, ce qui n'est pas toujours le cas. Certains travaux font effectivement état de carcasses très peu grasses et persillées (Lefebvre *et al.*, 2013 ; d'Alteroche, 2020). D'autres rapportent que des carcasses peu grasses (état d'engraissement de 2) peuvent être plus persillées que des carcasses notées 4 (d'Alteroche, 2020). L'étude de Liu *et al.* (2020) montre que le lien entre le niveau de persillé et la note d'état d'engraissement est effectivement imparfait (Liu *et al.*, 2020). Enfin, Bonny *et al.* (2016 et 2017) montrent qu'il n'y a pas de relation entre les notes d'état

d'engraissement (selon le classement EUROP) et les satisfactions en bouche. Le persillé étant un indicateur de qualité organoleptique en bouche, le lien entre les notes d'état d'engraissement et les niveaux de persillé reste modéré. Il semblerait donc que les mécanismes de dépôt des différents tissus adipeux chez le bovin soient plus complexes que ceux énoncés précédemment.

Le travail approfondi de Du *et al.* (2014) (Figure 2) permet de dégager une conception plus précise de la cinétique de dépôt des différents gras chez le bovin. Selon ces auteurs, l'hyperplasie débiterait à partir de la deuxième moitié de la gestation. Comme l'illustre la Figure 2, les gras initient leur hyperplasie dans cet ordre : les adipocytes viscéraux, sous cutanés, intermusculaires et enfin intramusculaires (Taga *et al.*, 2011, Du *et al.*, 2014). L'hyperplasie s'arrêterait avant 150 jours d'âge environ chez le bovin pour l'ensemble de ses dépôts adipeux, sauf pour le gras intramusculaire pour lequel elle continuerait jusqu'à 250 jours d'âge environ (Du *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2016) (Figure 2). D'après cette théorie, il serait donc possible de maximiser le nombre d'adipocytes intramusculaires entre 150 et 250 jours sans impacter l'hyperplasie des autres types de gras : c'est la "marbling window" ou "fenêtre de persillé" en français.

Figure 2 : Schéma des dépôts des différents types de gras (d'après Du *et al.*, 2014)



II. CERTAINES PRATIQUES D'ELEVAGE PERMETTENT D'ACCROITRE LES NIVEAUX DE PERSILLE

Grâce à une meilleure compréhension des différents phénomènes biologiques évoqués précédemment, certains scientifiques ont pu investiguer différents leviers activables

en élevage pour accroître le niveau de persillé des viandes bovines.

II.1. Les pratiques d'élevage

II.1.1. La complémentation des vaches mères pendant la gestation

D'après Du *et al.* (2010), une complémentation des mères pendant la deuxième moitié de la gestation augmenterait les niveaux de persillé de leur descendance. Cependant, selon le contexte, cette pratique peut être délicate voire inappropriée, puisqu'elle provoque une augmentation de l'état corporel global de la vache et une augmentation du poids du veau, ce qui peut occasionner des problèmes au vêlage (Dufresne, 2011). Par ailleurs, comme évoqué par Du *et al.* (2014), avant la naissance, c'est l'ensemble des cellules adipeuses qui est en cours de

multiplication cellulaire et non seulement les adipocytes intramusculaires. On peut donc supposer qu'une complémentation de la mère en fin de gestation provoquerait une augmentation du développement de l'ensemble des tissus adipeux et donc de l'état d'engraissement de la progéniture. Les carcasses produites pourraient être jugées trop grasses par certains industriels de la viande, au regard de leurs marchés potentiels, constituant un frein supplémentaire à la mise en place de cette pratique.

II.1.2. L'apport énergétique pendant la phase de la "marbling window"

Certains travaux démontrent qu'un apport énergétique important pendant la phase de la « marbling window » (entre 150 et 250 jours de vie) augmente le niveau de persillé de façon significative (Schoonmaker *et al.*, 2002 ; Scheffler *et al.*, 2014 ; Smith *et al.*, 2015 ; Nayananjalie *et al.*, 2015 ; Koch *et al.*, 2018). Les améliorations constatées au cours de différents travaux sont comprises entre 59 à 127 points sur la grille MSA (grille de mesure du système

« Meat Standards Australia » allant de 100 à 1190 par incrémentation de 10 points). Il est intéressant de noter que dans la plupart de ces essais, l'apport énergétique important entre 150 et 250 jours n'impacte pas l'épaisseur de gras dorsal (Schoonmaker *et al.*, 2002 ; Scheffler *et al.*, 2014 ; Smith *et al.*, 2015 ; Nayananjalie *et al.*, 2015) ou la proportion de gras total (Schoonmaker *et al.*, 2002). Dans certains cas, cette pratique peut même conduire à une

diminution des épaisseurs de gras (Koch *et al.*, 2018). Ce type de conduite semble ainsi constituer un levier à investiguer pour améliorer les niveaux de persillé tout en limitant l'augmentation des autres dépôts de gras qui ne sont pas toujours valorisables par le milieu de filière (abatteurs et transformateurs). Cependant, à l'heure actuelle, ces travaux ont toujours porté sur des animaux abattus relativement jeunes (entre 10 et 18 mois), de races précoces

II.1.3. La nature de la complémentation pendant la phase de la « marbling window »

La nature de la complémentation des jeunes animaux pendant la phase de la « marbling window » peut également impacter les niveaux de persillé déposés. L'apport de lipides insaturés protégés de la dégradation ruminale semble favoriser le dépôt de gras intramusculaire grâce à une hyperplasie plus importante des adipocytes pendant la période de la « marbling window ».

Alberti *et al.* (2014) constatent par exemple qu'une complémentation enrichie de 10% en graine de lin chez des jeunes bovins de race Holstein entre 210 jours et 320 jours permet d'augmenter le nombre de "tâches" de persillé de 5 points sur la dixième côte (23 vs 18 pour le lot témoin). Cet accroissement du niveau de persillé s'effectue sans augmentation de la note d'état d'engraissement, comparativement au lot témoin (nourri avec un régime iso-énergétique) pour des animaux abattus à 320 jours.

Par ailleurs, une autre étude montre qu'un apport de 10% de graine de lin chez des jeunes taureaux de race Frisonne de 210 jours augmente de 0,9 point la teneur en lipides intramusculaires (Barahona, 2015).

Certains auteurs (Mangrum *et al.*, 2016) vont même plus loin, en montrant que l'ajout de certains lipides comme le CLA (acide linoléique conjugué) dans la ration permet d'accroître les niveaux en persillé et de diminuer (Barnes *et al.*, 2012) ou de maintenir constantes les épaisseurs de gras dorsal.

II.2. Les pratiques de finition

II.2.1. L'apport énergétique

L'apport énergétique de la ration pendant la phase d'engraissement est un paramètre important et bien connu, puisqu'il permet à l'animal de synthétiser des lipides grâce à différents composés (propionate, glucose, acides gras) (Pethick *et al.*, 2004). Ainsi, l'augmentation du niveau énergétique (+0,5 à +1,56 MJ/kg MS) permet d'accroître de manière importante la teneur en lipides intramusculaire (entre 5 et 10 points d'augmentation environ) (Costa *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2019). L'augmentation des apports énergétiques permet également d'obtenir des notes visuelles de persillé supérieures (Berthiaume *et al.*, 2006 ; Schoonmaker *et al.*, 2010 ; Garmyn *et al.*, 2010 ; Duckett *et al.*, 2013). Les améliorations sont comprises entre 64 et 320 points sur la grille MSA selon les travaux, ce qui est conséquent (Schoonmaker *et al.*, 2010 ; Duckett *et al.*,

II.2.2. La durée de la finition

L'augmentation de la durée de finition est également un moyen bien connu d'accroître les dépôts de gras intramusculaires dans la viande bovine (Vestergaard *et al.*, 2007 ; Smith et Lunt, 2007). L'allongement de deux mois

(Angus, Simmental x Angus) et dans un contexte anglo-saxon (finition en « feedlot »). Il serait intéressant de tester ces observations par des travaux sur des animaux plus âgés, de races plus tardives (Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine, ...), et dans un contexte de production français. Il n'est effectivement pas certain que le même genre de résultats soit alors obtenu.

Mangrum *et al.* (2016) ont testé l'impact de l'ajout de 200 g de lipides protégés (Megalac-R) pendant 110 jours dans la ration de jeunes bœufs âgés de 150 jours. Après finition et abattage à 385 jours (environ 12,5 mois), une augmentation d'environ 4 points de la note de persillé a été constatée (sur une échelle de 30 à 80) avec l'ajout des lipides dans la ration. Les améliorations des niveaux de persillé constatées restent malgré tout très modestes et mériteraient d'être approfondies.

Enfin, certains chercheurs se sont interrogés sur la persistance du bénéfice d'une complémentation énergétique entre 150 jours et 250 jours de vie après une période d'amaigrissement comme il en existe au cours de la vie d'un animal en élevage bovin (en particulier les femelles tant allaitantes et laitières) (Robelin et Casteilla 1990). Des observations laissent à penser que c'est le cas. Une complémentation dans le jeune âge permettrait d'accroître le nombre d'adipocytes, seul leur volume étant impacté par les périodes de vie ultérieures. Chez les rongeurs soumis à un jeûne sévère, la masse adipeuse ne diminue que par la baisse du volume et non par la réduction du nombre d'adipocytes (Robelin et Casteilla 1990). Les observations effectuées chez les bovins vont dans le même sens (Robelin et Casteilla 1990).

2013). Dans toutes ces expérimentations, l'augmentation de la quantité d'énergie ingérée a toujours provoqué une augmentation significative des autres dépôts adipeux de la carcasse (externe, interne et intermusculaire) (Costa *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2019 ; Berthiaume *et al.*, 2006 ; Schoonmaker *et al.*, 2010 ; Garmyn *et al.*, 2010 ; Duckett *et al.*, 2013). Cette augmentation de l'adiposité globale des carcasses peut poser problème aux opérateurs de la filière viande, car certains gras non valorisés, écartés lors de l'émoussage ou de la découpe, conduisent à une dévalorisation de la carcasse. Cependant, ces gras peuvent être valorisés dans certaines filières, notamment celle de la fabrication du haché, qui représente actuellement plus de la moitié de l'équilibre carcasse en France (Chardon *et al.*, 2022).

de la durée d'engraissement de vaches laitières de race Holstein, avec la même ration, permet d'augmenter significativement le taux de gras intramusculaire, de 3,7% à 5,5% (Vestergaard *et al.*, 2007) ainsi que la note de persillé

(+0,8 point sur une échelle de 1 à 5). En revanche, dans le cadre de cet essai, cette pratique provoque également un accroissement du pourcentage de gras dans le milieu de train de côte (déterminé par une dissection) de 7,5 points (Verstergaard *et al.*, 2007). L'étude de façon conjointe de l'effet du niveau énergétique et de la durée d'engraissement montrent que certaines vaches de réforme de race Rouge des Prés déposent leurs lipides essentiellement dans le persillé avec des finitions longues (142 jours) et avec des niveaux énergétiques modérés (5,8 kg de concentré par jour) (Couvreur *et al.*, 2013). A l'inverse, le dépôt de lipides semble se faire principalement dans le marbré (gras

II.2.3. Le niveau protéique

L'effet du niveau protéique de la ration d'engraissement sur l'adiposité des carcasses est relativement modéré. Certains scientifiques constatent que l'augmentation du niveau azoté de la ration a tendance à diminuer légèrement l'adiposité des carcasses (entre 2 et 3 points de pourcentage de gras total selon les essais) (Roux *et al.*, 1993 ; Berge *et al.*, 1993). Par ailleurs, l'augmentation du ratio protéine/énergie ne provoque pas de diminution

II.2.4. La vitamine A

L'apport de vitamine A peut avoir une incidence non négligeable sur les niveaux de persillé. Chez de jeunes animaux, la complémentation en vitamine A permet de stimuler la multiplication des pré-adipocytes lors de la phase de prolifération (Wang *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2019 ; Peng *et al.*, 2020 ; Peng *et al.*, 2021). En effet, Peng *et al.* (2020) montrent qu'un apport quotidien de vitamine A par voie orale peu après la naissance (de 5 jours à 2 mois d'âge) stimule le développement des pré-adipocytes. Il convient toutefois de rester prudent car les effectifs utilisés dans le cadre de cette expérimentation sont relativement faibles (13 à 14 animaux par lot).

En revanche, la vitamine A peut également faire diminuer l'accumulation de lipides au sein des adipocytes et, ainsi inhiber la différenciation des pré-adipocytes en adipocytes puis l'hypertrophie des adipocytes (Wang *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2019 ; Peng *et al.*, 2021). Pour ces raisons, différentes études mettent en évidence un intérêt de la restriction des apports de vitamine A pendant l'engraissement pour augmenter de manière significative le niveau de persillé (Gibb *et al.*, 2011 ; Pickworth *et al.*, 2012 ; Wang *et al.*, 2016). Gibb *et al.* (2011), des scientifiques canadiens, testent l'effet d'une complémentation en vitamine A à hauteur de 3640 UI/kg MS sur plusieurs régimes alimentaires ayant des niveaux compris entre 78 et 390 UI/kgMS. En moyenne, la complémentation en vitamine A entraîne une diminution des notes de persillé de 40 points sur une échelle de 300 à 600 (300 étant le niveau le plus faible et 600 étant le niveau le plus élevé) (Gibb *et al.*, 2011). La grille utilisée est calquée sur la grille USDA, le niveau 300 correspond à l'appellation "Slight" et la notation 600 représente le niveau

II.2.5. Le type de finition : à l'herbe ou à l'auge

D'autres éléments portant sur les modes de conduites en finition peuvent également avoir un impact sur les quantités de persillé déposées. En effet, les animaux finis au pâturage sont généralement moins bien finis et ainsi moins persillés

intermusculaire) lors de finitions de durées moyennes (106 jours), mais très énergétiques (9,7 kg de concentré par jour). Ces résultats semblent cohérents avec les connaissances actuelles sur les différentes phases de dépôt des tissus adipeux. L'allongement de la durée de finition permet d'augmenter le temps consacré à l'hypertrophie des adipocytes, d'où une augmentation de la teneur en gras intramusculaire et des niveaux de persillé supérieurs. En revanche, l'impact de l'augmentation de la durée d'engraissement sur les autres dépôts adipeux mériterait d'être précisé et approfondi par d'autres travaux.

significative des teneurs en gras intramusculaire (Danner *et al.*, 1980 ; Roux *et al.*, 1993 ; Bindon, 2004 ; Homm *et al.*, 2008 ; Felix et Loerch, 2011). La suralimentation protéique ne semble donc pas être un levier majeur pour agir sur les dépôts adipeux des carcasses. Ces résultats sont cohérents vis-à-vis des recommandations françaises visant à rechercher un niveau de PDI/UF modéré (entre 90 et 100gPDI/UF) (INRAE, 2018).

"high choice". Ces observations sont confortées par les résultats de Pickworth *et al.* (2012), qui testent l'effet d'une restriction en vitamine A pendant la phase de finition sur les caractéristiques des carcasses de bœufs Angus. Deux niveaux sont comparés : 1020 UI/kg MS et 3240 UI/kg MS. Ici encore, la restriction de vitamine A permet d'augmenter la teneur en lipides intramusculaire (exprimé en % de lipides intramusculaires) de 1,7 point, grâce à une meilleure hyperplasie. Ward *et al.* (2012) mettent en évidence des observations relativement similaires, même si l'impact de la restriction semble ici plus modeste. Lors de cette étude, deux niveaux de supplémentation sont comparés sur bœuf Angus : 750 000 UI/mois/animal versus 549 UI/kg MS. La ration sans supplémentation permet encore une fois d'obtenir des teneurs en lipides intramusculaires supérieures (+0,7 point). D'autres observations vont dans le même sens, même si les différences de persillé ou de gras intramusculaire ne sont pas significatives dans les essais concernés (Gorocica-Buenfil, 2007 ; Knutson *et al.*, 2020).

Par ailleurs, il est intéressant de souligner que pour chaque essai précédemment cité, les améliorations des niveaux de persillé sont obtenues sans modification des épaisseurs de gras dorsal. Ceci permettrait de répondre aux exigences des industriels qui souhaitent des carcasses persillées mais moyennement grasses (état d'engraissement de 3). Cependant, cette pratique doit être solidement encadrée puisque certaines études rapportent qu'une restriction de vitamine A au-delà des seuils préconisés peut occasionner des problèmes de santé (cécité et ataxie (troubles du comportement)), ainsi que des retards de croissance (Oka *et al.*, 1998 ; Harper et Pethick, 2001).

que ceux finis en « feedlot » ou en bâtiment (Clinquart *et al.*, 2000 ; Bindon *et al.*, 2004 ; Hocquette *et al.*, 2015 ; Smith et Lunt, 2007 ; Morales *et al.*, 2013 ; Ladeira *et al.*, 2016 ; Gerlach, 2014). Ce phénomène résulte d'une

combinaison de différents facteurs : des besoins supplémentaires liés à l'activité physique et une plus faible valeur énergétique de l'herbe (Morales, 2013). Par ailleurs, l'herbe contient d'importantes quantités de vitamine A

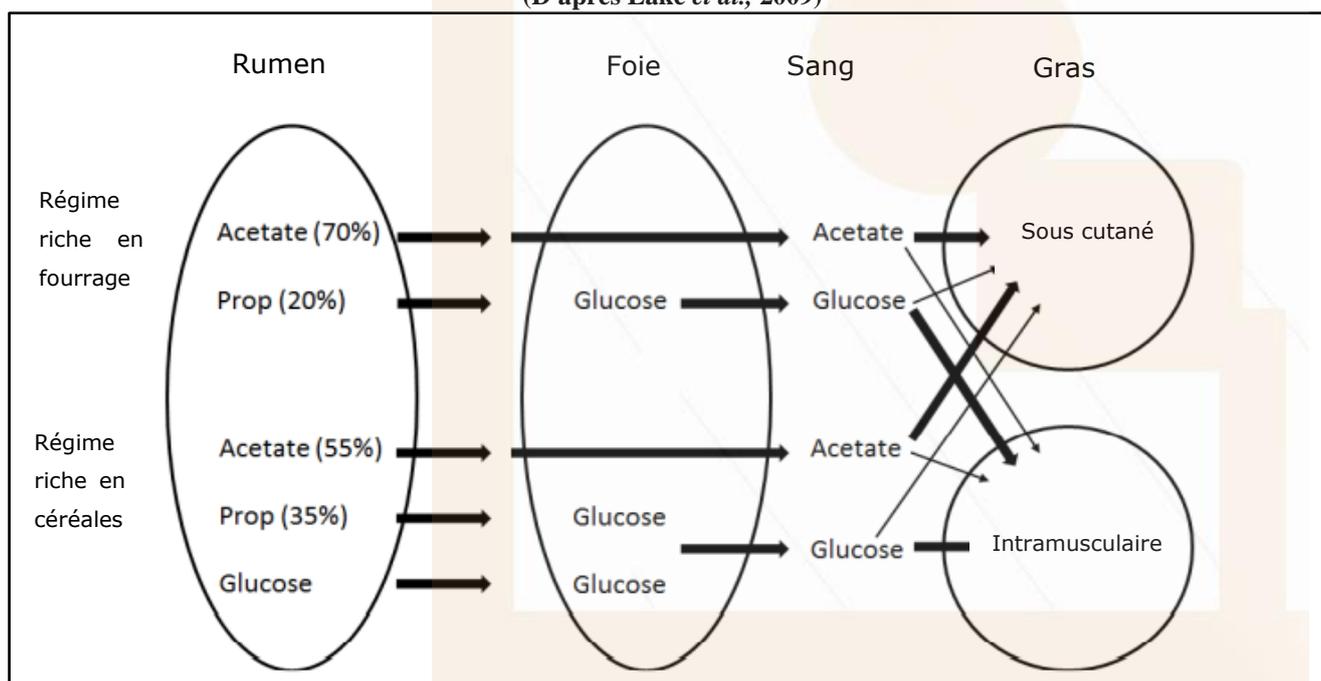
(Pyatt *et al.*, 2005), qui comme expliqué précédemment, pourrait être l'une des causes de la diminution des dépôts de persillé.

II.2.6. La nature des composants de la ration de finition à l'auge

La nature des composants issus de la digestion semble également avoir un impact sur les dépôts adipeux du bovin. En effet, les substrats utilisés pour la lipogenèse générale (pour les autres gras que le gras intramusculaire) sont différents de ceux de la lipogenèse intramusculaire. Les adipocytes intramusculaires utilisent principalement le glucose comme précurseur des triglycérides, alors que les

autres dépôts adipeux sont principalement formés grâce à l'acétate (Smith et Crouse, 1984 ; Lake *et al.*, 2009 ; Ahola, 2016). Ainsi, comme l'illustre la Figure 3, il est possible de supposer qu'en maximisant la quantité de glucose dans le sang et en diminuant les quantités d'acétate produit, on augmente les dépôts de gras intramusculaire au détriment des autres gras.

Figure 3 : Influence de l'alimentation sur les composés issus du rumen et sur les stockages de lipides chez le bovin (D'après Lake *et al.*, 2009)



Les régimes riches en céréales, source importante de glucose (Figure3), semblent dès lors permettre à l'animal de déposer du persillé, contrairement aux régimes riches en fourrage. C'est ce que constatent Yamada et Nakanishi (2012) en testant l'effet du ratio fourrage/concentré sur les caractéristiques des carcasses, à mêmes niveaux énergétiques et protéiques. Plus la ration est riche en concentré, plus elle permet d'augmenter les taux de lipides intramusculaires (+8,8 points) sans accroissement de l'importance des autres gras de la carcasse (mésentérique, sous-cutané et intermusculaire). Personen *et al.* (2013) font des observations allant dans le même sens : l'augmentation des niveaux de concentré à même niveau énergétique permet de faire diminuer les dépôts de gras sous-cutanés sans modifier les niveaux de persillé. Ce constat semble confirmer les phénomènes biologiques énoncés précédemment (Figure 3). En revanche, Smith *et al.* (2018) n'observent pas d'amélioration significative des niveaux de persillé entre une infusion d'acétate et une infusion de

glucose dans le rumen, résultat à nuancer vu les effectifs très faibles (n=6 par modalité) considérés dans cette étude.

Par ailleurs, au vu des considérations précédentes, l'apport de maïs semble être une piste à approfondir, puisque cette céréale permet de maximiser l'absorption du glucose par l'organisme (Harmon *et al.*, 2001). Cela rejoint certaines observations de scientifiques dans la littérature, qui pensent que l'utilisation de maïs grain en finition permet d'augmenter les niveaux de persillé (Pethick *et al.*, 2004 ; Smith et Lunt, 2007).

Ainsi, à même niveau énergétique, des régimes riches en céréales semblent autoriser une augmentation des niveaux de persillé alors que les autres dépôts de gras restent similaires ou diminuent. Il serait intéressant d'étudier davantage cet aspect en particulier dans le contexte de production français, afin de confirmer ou non ce levier d'action et de tenir compte des enjeux sociétaux actuels (utilisation des ressources, compétition feed/food, ...).

III. IMPACT DU TYPE D'ANIMAL SUR L'APTITUDE A DEPOSER DU PERSILLE

Tous les animaux n'atteignent pas leur maturité physiologique, c'est-à-dire leur stade ultime de développement, au même âge. La précocité est l'aptitude de l'animal à atteindre rapidement l'état adulte et la

III.1. La race

Même s'il existe de la variabilité intra-race, la race est un paramètre important qui va influencer la précocité de l'animal. En effet, la diversité des objectifs de sélections des races conduit à des différences de précocité importante en fonction des races. Les races dites précoces déposent plus de persillé et de gras que les races dites tardives, et de façon plus rapide (Cuvelier *et al.*, 2006, Xie *et al.*, 2012). Les races laitières sont par exemple plus précoces que les races allaitantes, et déposent par conséquent plus de gras et plus

III.2. Le sexe

Le sexe de l'animal a un impact direct sur la précocité de l'animal et donc sur sa capacité à déposer du persillé. En effet, à même poids vif, les carcasses de génisses contiennent 30 à 60% de gras en plus que les taurillons de même race (Institut de l'élevage, 1994). Le constat est

III.3. L'âge

La faculté d'un animal à déposer du persillé augmente avec son âge durant la phase de croissance. Ainsi que déjà évoqué, le persillé est effectivement un gras à dépôt tardif : après la naissance, la capacité à déposer du muscle diminue progressivement et l'animal dépose plus facilement du gras (Hocquette *et al.*, 2015 ; Cassagnol, 2018). Cependant, une fois la phase de croissance terminée, l'âge de l'animal ne semble plus tellement impacter la teneur en gras

composition corporelle de l'individu mature (Jussiau, 2017). Ainsi, plus l'animal est précoce, plus il atteint rapidement l'état adulte et plus les dépôts de gras seront précoces et importants (Jussiau, 2017).

de persillé à alimentation et âge d'abattage similaires (Pfhul *et al.*, 2007) ou à poids vif équivalent (Idele, 1994). A contrario, la race Blanc bleu belge est jugée particulièrement tardive et dépose moins de lipides intramusculaires que la race française Limousine (2,7% vs 6,5%) ou la race Angus (2,7% vs 6,5%), d'origine écossaise, à alimentation et décision d'abattage équivalentes (Cuvelier *et al.*, 2006).

identique sur les dépôts de gras intramusculaires : les mâles déposent moins de persillé que les femelles. Les bœufs ont un statut intermédiaire : ils déposent moins de lipides que les femelles mais plus que les mâles (Harper et Pethick, 2001 ; Harper, 2003 ; Cassagnol, 2018).

intramusculaire de la viande. En effet, certaines études ne montrent pas de différence significative de teneur en gras intramusculaire entre des vaches de 5 ans et de 11 ans (Dumont *et al.*, 1991 ; Bastien *et al.*, 2002). Des vaches très âgées (de plus de 12 ans) ont même tendance à être plus difficiles à engraisser : elles déposent moins de gras que leurs homologues plus jeunes (Cabaraux *et al.*, 2005)

CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique permet de confirmer l'impact de certains facteurs déjà bien identifiés par la littérature. On peut penser à l'effet du type d'animal ou encore celui du niveau énergétique et de la durée de finition sur la propension des bovins à déposer du gras intramusculaire et à obtenir in fine du persillé dans la viande. Des facteurs d'influence provenant d'études plus récentes ont également été mis en évidence, comme la complémentation entre 150 et 250 jours d'âge, la teneur en vitamine A ou encore la nature de la ration d'engraissement.

Néanmoins, il convient d'être prudent quant à l'efficacité de ces derniers leviers, qui n'ont été étudiés, à notre connaissance, que sur des animaux de races précoces et dans un contexte anglo-saxon. Certains projets menés par IDELE pour INTERBEV sur cette thématique sont déjà en cours et devrait approfondir l'étude de ces aspects dans le contexte français. Cela peut permettre d'ouvrir de nouvelles perspectives afin d'accompagner les éleveurs français dans la production de viandes plus persillées, aptes à mieux satisfaire les consommateurs à la dégustation.

Références

- Ahola J.K. (2016). Effects of the 60-d Window Around the Time of Weaning on Subsequent Quality Grade and Eating Quality of Beef. https://www.cabcattle.com/wp-content/uploads/60-d_window_at_weaning_Ahola_CAB_FINAL-to-CAB_8-15-14.pdf
- Albertí P., Gómez I., Mendizabal J.A., Ripoll G., Barahona M., Sarriés V., Insausti K., Beriain M.J., Purroy A., Realini C., (2013). Effect of whole linseed and rumen-protected conjugated linoleic acid enriched diets on feedlot performance, carcass characteristics, and adipose tissue development in young Holstein bulls. *Meat Science*, 94, 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.01.015>
- Barahona M., Olleta J.L., Sañudo C., Albertí P., Panea B., Pérez-Juan M., Realini C.E., Campo M.M. (2016). Effects of whole linseed and rumen-protected conjugated linoleic acid enriched diets on beef quality. *Animal*, 10, 709–717. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002591>
- Bastien D., Denoyelle C., Tribot Laspiere P. (2002). Age à l'abattage, suspension pelvienne, pratique de l'affranchi : pour une meilleure argumentation des choix techniques en matière de gestion de la tendreté dans les démarches qualité. *Rencontres Recherches Ruminants*, 9, 251-254. <http://www.journees3r.fr/spip.php?article943>

- Berge P., Culioli J., Renner M., Touraille C., Micol D., Geay Y. (1993). Effect of feed protein on carcass composition and meat quality in steers. *Meat Science*, 35, 79–92. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(93\)90071-O](https://doi.org/10.1016/0309-1740(93)90071-O)
- Berthiaume R., Mandell I., Faucitano L., Lafrenière C. (2006). Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 1. Feedlot performance, carcass quality, and production costs. *Journal of Animal Science* 84, 2168–2177. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-328>
- Bindon B.M. (2004). A review of genetic and non-genetic opportunities for manipulation of marbling. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 687-696. <https://doi.org/10.1071/EA02173>
- Bonny S., Legrand I., Pethick D., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L., Polkinghorne R., Gardner G., Hocquette J.-F. (2017). La qualité sensorielle n'a pas de relation avec la qualité des carcasses bovines. *Viandes et produits carnés VPC-2017-33-2-5* <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/fr/processtechnologies/838-la-qualite-sensorielle-n-a-pas-de-relation-avec-la-classification-des-carcasses-bovines-2>
- Bonny S.P.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.-F., Gardner G.E. (2016). European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. *Animal*, 10, 996–1006. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002839>
- Cabaraux J.F., Dufasne I., Roux M., Istasse L., Hornick J.L. (2005). La production de viande bovine à partir de femelles de réforme. *INRA Productions Animales*, 18, 37–48. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2005.18.1.3508>
- Cassignol V. (2018). Facteurs déterminant la qualité sensorielle de la viande bovine : quelle importance de la race ? *Viandes et Produits carnés, VPC-2018-34-1-5* <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/fr/processtechnologies/904-facteurs-determinant-la-qualite-sensorielle-de-la-viande-bovine-quelle-importance-de-la-race>
- Chardon H., Abdennebi-Najar L., Lerouge D., Repplinger M., Fossey M., (2022). Synthèse des travaux en cours sur l'impact environnemental des viandes, la protection des animaux, l'équilibre alimentaire, la demande du marché et la réponse aux attentes du consommateur afin de garantir une viande de qualité, produite de façon raisonnée et durable. *Viandes et Produits Carnés, VPC-2022-3812* <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/fr/1183-la-recherche-d-interbev-au-service-du-manger-mieux>
- Choi Y.M., Garcia L.G., Lee K. (2019). Correlations of Sensory Quality Characteristics with Intramuscular Fat Content and Bundle Characteristics in Bovine Longissimus Thoracis Muscle. *Food Science of Animal Resources*, 39, 197–208. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e15>
- Clinquart A., Leroy B., Dottreppe O., Hornick J.L., Dufasne I.L. and Istasse L. (2000) Les facteurs de production qui influencent la qualité de la viande des bovins Blanc Bleu belge. L'élevage du Blanc Bleu Belge. Journée du Centre d'Excellence du Secteur agricole et son Management (CESAM), 19p. <https://www.aminer.org/pub/53e99d57b7602d970260e621/les-facteurs-de-production-qui-influencent-la-qualite-de-la-viande-des>
- Coibion L. (2008). Acquisition des qualités organoleptiques de la viande bovine : adaptation à la demande du consommateur. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 97 p. <https://oatao.univ-toulouse.fr/2075/>
- Costa A.S.H., Costa P., Bessa R.J.B., Lemos J.P.C., Simões J.A., Santos-Silva J., Fontes C.M.G.A., Prates J.A.M. (2013). Carcass fat partitioning and meat quality of Alentejana and Barrosã young bulls fed high or low maize silage diets. *Meat Science*, 93, 405–412. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.010>
- Couvreur S., Le Bec G., Micol D., Aminot G., Picard B. (2013). Les caractéristiques des vaches de réforme de l'AOP Maine Anjou et les pratiques de finition influencent leur qualité de viande. *Rencontres Recherches Ruminants*, 20, 165-168. http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_1_qualite_des_produits_S_Couvreur.pdf
- D'Alteroche F. (2020). Vache de réforme : la quête du persillé parfait. Réussir bovin viande. <https://www.reussir.fr/bovins-viande/vaches-de-reforme-la-quete-de-la-recette-du-persille-parfait>
- Danner M L., Fox D. G., Black J. R. (1980). Effect of Feeding System on Performance and Carcass Characteristics of Yearling Steers, Steer Calves and Heifer Calves. *Journal of Animal Science*, 50, 394–404 <https://doi.org/10.2527/jas1980.503394x>
- Du M., Huang Y., Das A.K., Yang Q., Duarte M.S., Dodson M.V., Zhu M.-J. (2013). Meat science and muscle biology symposium: Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91, 1419–1427. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5670>
- Du M., Tong J., Zhao J., Underwood K.R., Zhu M., Ford S.P., Nathanielsz P.W. (2010). Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *Journal of Animal Science*, 88, E51–E60. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2311>
- Dufasne, I. (2011). Alimentation du veau à la vache : du veau à la vache. Présenté à la Journée d'Etude du Service Public de Wallonie, Henrichapelle, Belgique. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/136884#statistics>
- Dumont R., Roux M., Agabriel J., Touraille C., Bonnemaire J., Malterre C., Robelin J. (1991). Engraissement des vaches de réforme de race charolaise. Facteurs de variation des performances zootechniques, de la composition tissulaire des carcasses et de la qualité organoleptique de la viande. *INRA Productions Animales*, 4, 271–286. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1991.4.4.4341>
- Felix T.L., Loerch S.C. (2011). Effects of haylage and monensin supplementation on performance, carcass characteristics, and ruminal metabolism of feedlot cattle fed diets containing 60% dried distillers grains. *Journal of Animal Science*, 89, 2614–2623. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3716>
- Flamant, J. C. (2010). Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20^e siècle. Mission Agrobiosciences, ENSAT, Toulouse, France, 20. <https://www.agrobiosciences.org/IMG/pdf/Flamant-Ensat.pdf>
- Garmyn A.J., Hilton G.G., Mateescu R.G., VanOverbeke D.L. (2010). Effects of Concentrate- Versus Forage-Based Finishing Diet on Carcass Traits, Beef Palatability, and Color Stability in Longissimus Muscle from Angus Heifers. *The Professional Animal Scientist*, 26, 579–586. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30654-9](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30654-9)
- Gerlach B.M. (2008). The effects of exercise on beef cattle health, performance, and carcass quality; and the effects of extended aging, blade tenderization, and degree of doneness on beef aroma volatile formation. *Experiment 202*. <https://core.ac.uk/download/pdf/33353663.pdf>

- Gibb D., Van Herk F.H., Mir P., Loerch S., McAllister T. (2011). Removal of supplemental vitamin A from barley-based diets improves marbling in feedlot heifers. *Journal of Animal Science*, 91, 669–674. <https://doi.org/10.4141/cjas2011-038>
- Gorocica-Buenfil M.A., Loerch S.C. (2005). Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance¹. *Journal of Animal Science*, 83, 705–714. <https://doi.org/10.2527/2005.833705x>
- Harmon D.L., McLeod K.R. (2001). Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: Implications and whole-body energetics. *Journal of Animal Science*, 79, E59. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE59x>
- Harper, G. S. (2003). Biological determinants of intramuscular fat deposition in beef cattle: current mechanistic knowledge and sources of variation. *Meat Livestock Australia*, Sydney. <https://www.mla.com.au/research-and-development/reports/2003/biological-determinants-of-intramuscular-fat-deposition-in-beef-cattle-current-mechanistic-knowledge-and-sources-of-variation/>
- Harper G.S., Pethick D., (2001). The physiology of marbling: what is it, and why does it develop? Marbling Symposium, October, Coffs Harbour, NSW, Australia <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/21242/>
- Hocquette J.-F., Cassar-Malek I., Jurie C., Bauchart D., Picard B., Renand G. (2015). Caractéristiques musculaires des bovins sélectionnés pour la croissance musculaire. *Viandes et Produits carnés VPC-2015-31-4-2* <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/fr/processtechnologies/678-caracteristiques-musculaires-des-bovins-selectionnes-pour-la-croissance-musculaire>
- Homm J.W., Berger L.L., Forster L.A., Nash T.G. (2008). Optimizing the Length of Feeding an Elevated Level of Dried Distillers Grains plus Solubles-Soybean Hull Diet to Feedlot Cattle. *The Professional Animal Scientist*, 24, 328–333. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30863-9](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30863-9)
- Interbev, CIV, Institut de l'élevage. (1994). Le Point sur le gras chez les bovins. Collection « Le Point Sur »
- INRAE (2018). Alimentation des ruminants. Editions Quae, Paris, France. <https://acta-editions.com/shop/a008-alimentation-des-ruminants-4e-edition-2024?page=11#attr>
- Interbev (2017). Plan de la filière viande bovine française <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/88262?token=139281be9c4757f39c5cbf024f920c4aba53bd45d682f2a841a5bae5551be338>
- Jussiau R. (2017). Le gras des animaux, approche zootechnique. *Viandes et produits carnés*, VPC-2017-33-3-2 <https://www.viandesetproduitscarnes.fr/index.php/fr/processtechnologies/851-le-gras-des-animaux-approche-zootechnique>
- Knutson E.E., Menezes A.C.B., Sun X., Fontoura A.B.P., Liu J.H., Bauer M.L., Maddock-Carlin K.R., Swanson K.C., Ward A.K. (2020). Effect of feeding a low-vitamin A diet on carcass and production characteristics of steers with a high or low propensity for marbling. *Animal*, 14, 2308–2314. <https://doi.org/10.1017/S1751731120001135>
- Koch B.M., Pavan E., Andrae J.G., Duckett S.K. (2018). Timing of Exposure to High-Concentrates versus High-Quality Forages on Growth and Marbling Deposition in Steers. *Meat and Muscle Biology*, 2.1. <https://doi.org/10.22175/mmb2018.06.0017>
- Ladeira M.M., Schoonmaker J.P., Swanson K.C., Duckett S.K., Gionbelli M.P., Rodrigues L.M., Teixeira P.D. (2018). Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. *Animal*, 12, s282–s294. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001933>
- Lake, S. (2009). Impacts of calf nutritional management on quality grade. *Range Beef Cow Symposium* (p. 270) <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1269&context=rangebeefcowsymp>
- Lefebvre T. (2013). Adéquation quantitative et qualitative de l'offre en viande bovine - Excès de gras interne dans les carcasses de femelles charolaises : quantification du problème, identification des facteurs de maîtrise et impact de la finition. *Collection Résultats 0013 32 025*
- Legrand I., Hocquette J.-F., Denoyelle C., Bieche-Terrier C. (2016). La gestion des nombreux critères de qualité de la viande bovine : une approche complexe. *INRA Productions animales*, 29, 185-200. <https://productions-animales.org/article/view/2959>
- Li C., Zhou G., Xu X., Zhang J., Xu S., Ji Y. (2006). Effects of Marbling on Meat Quality Characteristics and Intramuscular Connective Tissue of Beef Longissimus Muscle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19, 1799–1808. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1799>
- Liu J., Chriki S., Ellies-Oury M.-P., Legrand I., Pogorzelski G., Wierzbicki J., Farmer L., Troy D., Polkinghorne R., Hocquette J.-F. (2020). European conformation and fat scores of bovine carcasses are not good indicators of marbling. *Meat Science*, 170, 108233. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108233>
- Mangrum K.S., Tuttle G., Duckett S.K., Sell G.S., Krehbiel C.R., Long N.M. (2016). The effect of supplementing rumen undegradable unsaturated fatty acids on marbling in early-weaned steers¹. *Journal of Animal Science*, 94, 833–844. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9809>
- Morales R., Aguiar A.P.S., Subiabre I., Realini C.E. (2013). Beef acceptability and consumer expectations associated with production systems and marbling. *Food Quality and Preference*, 29, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.02.006>
- Nayananjalie W.A.D., Pike K.L., Wiles T.R., McCann M.A., Scheffler J.M., Greiner S.P., Schramm H.H., Gerrard D.E., Jiang H., Hanigan M.D. (2015). Effect of early grain feeding of beef steers on postabsorptive metabolism¹. *Journal of Animal Science*, 93, 2439–2450. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8277>
- Normand J., Flattard C., Philibert A., (2017). Attentes de consommateurs en matière de qualité de viande bovine, enquête sur la base d'analyse sensorielles. *Compte rendu d'étude Institut de l'Élevage et France Agrimer 112*.
- Oka A., Maruo Y., Miki T., Yamasaki T., Saito T. (1998). Influence of vitamin A on the quality of beef from the Tajima strain of Japanese Black cattle. *Meat Science*, 48, 159–167. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(97\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00086-7)
- O'Quinn T.G., Brooks J.C., Polkinghorne R.J., Garmyn A.J., Johnson B.J., Starkey J.D., Rathmann R.J., Miller M.F. (2012). Consumer assessment of beef strip loin steaks of varying fat levels. *Journal of Animal Science*, 90, 626–634. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4282>
- Park S.J., Beak S.-H., Jung D.J.S., Kim S.Y., Jeong I.H., Piao M.Y., Kang H.J., Fassah D.M., Na S.W., Yoo S.P., Baik M. (2018). Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle - A review. *Asian-*

Australasian Journal of Animal Sciences, Asian-Australasian Journal of Animal Science, 31, 1043–1061. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0310>

Peng D.Q., Jo Y.H., Kim S.J., Kim N.Y., Nejad J.G., Lee H.G. (2020). Oral vitamin A supplementation during neonatal stage enhances growth, pre-adipocyte and muscle development in Korean native calves. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114609. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114609>

Peng D.Q., Smith S.B., Lee H.G. (2021). Vitamin A regulates intramuscular adipose tissue and muscle development: promoting high-quality beef production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, 34. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00558-2>

Pesonen M., Honkavaara M., Kämäräinen H., Tolonen T., Jaakkola M., Virtanen V., Huuskonen A.K. (2013). Effects of concentrate level and rapeseed meal supplementation on performance, carcass characteristics, meat quality and valuable cuts of Hereford and Charolais bulls offered grass silage-barley-based rations. *Agricultural and Food Science*, 22, 151–167. <https://doi.org/10.23986/afsci.6703>

Pethick D.W., Harper G.S., Oddy V.H. (2004). Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 705. <https://doi.org/10.1071/EA02165>

Pickworth C.L., Loerch S.C., Fluharty F.L. (2012). Effects of timing and duration of dietary vitamin A reduction on carcass quality of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 90, 2677–2691. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4756>

Pyatt N.A., Berger L.L. (2005). Review: Potential Effects of Vitamins A and D on Marbling Deposition in Beef Cattle. *The Professional Animal Scientist*, 21, 174–181. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31199-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31199-2)

Robelin J., Casteilla L. (1990). Différenciation, croissance et développement du tissu adipeux. *INRAE Productions Animales*, 3, 243–252. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1990.3.4.4383>

Robelin J. (1981). Cellularity of bovine adipose tissues : developmental changes from 15 to 65 percent mature weight. *Journal of Lipid Research*, 22, 452–457. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)34959-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)34959-2)

Scheffler J.M., McCann M.A., Greiner S.P., Jiang H., Hanigan M.D., Bridges G.A., Lake S.L., Gerrard D.E. (2014). Early metabolic imprinting events increase marbling scores in fed cattle. *Journal of Animal Science*, 92, 320–324. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6209>

Schoonmaker J.P., Loerch S.C., Fluharty F.L., Zerby H.N., Turner T.B. (2002). Effect of age at feedlot entry on performance and carcass characteristics of bulls and steers. *Journal of Animal Science*, 80, 2247–2254. <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/80/9/2247/4789660?login=false>

Schoonmaker J.P., Trenkle A.H., Beitz D.C. (2010). Effect of feeding wet distillers grains on performance, marbling deposition, and fatty acid content of beef from steers fed low- or high-forage diets. *Journal of Animal Science*, 88, 3657–3665. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2896>

Smith J.K. (2015). Effects of early weaning on finishing feed efficiency, marbling development and retail product quality of beef steers. Virginia Polytechnic Institute and State University. https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/56596/Smith_JK_D_2015.pdf

Smith S.B., Blackmon T.L., Sawyer J.E., Miller R.K., Baber J.R., Morrill J.C., Cabral A.R., Wickersham T.A. (2018). Glucose and acetate metabolism in bovine intramuscular and subcutaneous adipose tissues from steers infused with glucose, propionate, or acetate. *Journal of Animal Science*, 96, 921–929. <https://doi.org/10.1093/jas/sky017>

Smith S.B., Crouse J.D. (1984). Relative Contributions of Acetate, Lactate and Glucose to Lipogenesis in Bovine Intramuscular and Subcutaneous Adipose Tissue. *The Journal of Nutrition*, 114, 792–800. <https://doi.org/10.1093/jn/114.4.792>

Smith S.B., Lunt D.K. (2007). Marbling: Management of cattle to maximize the deposition of intramuscular adipose tissue. The plains nutrition council. <https://theplainsnutritioncouncil.com/web/wp-content/uploads/2019/10/2007-Plains-Nutrition-Council-proceedings1.pdf>

Taga H., Bonnet M., Picard B., Zingaretti M.C., Cassar-Malek I., Cinti S., Chilliard Y. (2011). Adipocyte metabolism and cellularity are related to differences in adipose tissue maturity between Holstein and Charolais or Blond d'Aquitaine fetuses. *Journal of Animal Science*, 89, 711–721. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3234>

Tavoularis G., Sauvage E. (2018). Les nouvelles générations transforment la consommation de viande. *Consommation et modes de vie*, *Consommation et modes de vie*. <https://www.credoc.fr/publications/les-nouvelles-generations-transforment-la-consommation-de-viande>

Vestergaard M., Madsen N.T., Bligaard H.B., Bredahl L., Rasmussen P.T., Andersen H.R. (2007). Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Science*, 76, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.001>

Vernon R.G. (1981). Lipid metabolism in the adipose tissue of ruminants. *Lipid metabolism in Ruminant Animals*, W.W. Christie (editor), Pergamon Press, Oxford, 279–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080237893500118>

Wang B., Yang Q., Harris C.L., Nelson M.L., Busboom J.R., Zhu M.-J., Du M. (2016). Nutrigenomic regulation of adipose tissue development role of retinoic acid: A review. *Meat Science*, 120, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.003>

Wang H., Li H., Wu F., Qiu X., Yu Z., Niu W., He Y., Su H., Cao B. (2019). Effects of Dietary Energy on Growth Performance, Rumen Fermentation and Bacterial Community, and Meat Quality of Holstein-Friesians Bulls Slaughtered at Different Ages. *Animals*, 9, 1123. <https://doi.org/10.3390/ani9121123>

Xie X., Meng Q., Ren L., Shi F., Zhou B. (2012). Effect of cattle breed on finishing performance, carcass characteristics and economic benefits under typical beef production system in China. *Italian Journal of Animal Science*, 11, e58. <https://doi.org/10.4081/ijas.2012.e58>

Yamada T., Nakanishi N. (2012). Effects of the roughage/concentrate ratio on the expression of angiogenic growth factors in adipose tissue of fattening Wagyu steers. *Meat Science*, 90, 807–813. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.019>