

Qualité de la viande : enjeux actuels dans la filière poulet de chair - Résumé

Propriétés organoleptiques et composition nutritionnelle de la viande de poulet

L'intensification de la production de poulets de chair s'est accompagnée d'une augmentation des volumes de viande de poulet disponibles sur le marché, au prix de répercussions toutefois considérables sur la santé et le bien-être des animaux. En filière intensive conventionnelle, les souches de poulets sont sélectionnées principalement sur des critères de performances zootechniques. À l'inverse, les animaux élevés en milieu enrichi et moins contraignant (en bâtiment conçu pour favoriser le bien-être animal, en plein-air, ou dans les élevages certifiés par le label agriculture biologique) sont généralement issus de souches affichant de meilleures performances en termes de bien-être animal : des pattes plus robustes, une activité plus marquée et une expression plus satisfaisante des comportements naturels. La pression de sélection favorisant l'augmentation constante de la vitesse de croissance et du rendement en viande (en particulier au niveau du filet) se traduit non seulement par des conséquences délétères pour le bien-être des poulets, mais aussi par des répercussions négatives sur la qualité de leur viande, deux aspects auxquels les consommateurs attribuent de plus en plus d'importance¹.

En outre, les poulets d'élevage conventionnel vivent généralement dans des milieux non-enrichis et surpeuplés, qui limitent considérablement l'expression de leurs comportements naturels comme le perchage et la recherche de nourriture. L'impact de ces facteurs liés à l'environnement d'élevage sur la qualité de la viande est également connu.

La plupart des travaux menés à ce jour pour évaluer l'incidence de la souche et des conditions d'élevage sur les propriétés organoleptiques et nutritionnelles de la viande ne peuvent pas être directement comparés en raison de la grande variabilité qui existe entre les conditions d'élevage et les souches étudiées. Un certain nombre d'études ont toutefois fait le lien entre certains paramètres de qualité de la viande et des facteurs liés aux conditions d'élevage, d'une part et à la souche génétique, d'autre part. Par exemple, les animaux issus de souches à croissance plus lente affichent généralement un pourcentage plus élevé de graisse abdominale, une teneur en protéines plus haute

et un pH plus bas que les souches à croissance rapide ; en outre, l'accès à l'extérieur améliore la teneur de la viande en acides gras polyinsaturés (AGPI) et en vitamine E.

Myopathies des muscles pectoraux

Il a été démontré que chez les souches à vitesse de croissance élevée, le métabolisme rapide des animaux influence fortement la composition de la carcasse et la quantité de viande valorisable. La sélection favorisant l'augmentation de la vitesse de croissance et du rendement filet a augmenté l'incidence des myopathies au niveau des muscles pectoraux, des pathologies affectant aussi bien le bien-être animal que la commercialisation et les enjeux économiques de manière préoccupante.

Les myopathies les plus fréquentes touchent les deux muscles qui forment le filet. Les défauts tels que le « *white striping* » (apparition de striations blanches), le « *wooden breast* » (ou filet de bois), et le « *filet spaghetti* » (filet filandreux et spongieux) affectent le muscle *Pectoralis major* (muscle pectoral superficiel) tandis que la maladie du muscle vert (ou défaut des « *aiguillettes vertes* » ou « *maladie de l'Oregon* » ou encore DPM pour « *deep pectoral myopathy* »), la viande PSE (viande pâle, molle, et exsudative) ou un détachement des feuillettes musculaires (« *gaping* ») touchent le muscle *Pectoralis minor* (muscle pectoral profond). Ces phénomènes sont plus susceptibles de se développer chez des animaux dont les muscles sont fortement et continuellement sollicités au cours de la croissance, et donc d'être observées chez les individus plus lourds et à croissance rapide.

L'atteinte des muscles pectoraux par ces myopathies peut rendre les filets impropres à la vente sous leur format entier et peut également représenter un frein à leur transformation ultérieure du fait de leur teneur importante en tissu conjonctif, en muscle contracté et/ou en fibres musculaires peu cohésives. Les études ont également montré que le « *white striping* » modifie la composition nutritionnelle de la viande : la teneur en graisses augmente et celle de protéines diminue. Cette altération du profil nutritionnel peut engendrer des pertes économiques et du gaspillage alimentaires, car le produit est moins susceptible de répondre aux attentes habituelles des consommateurs de poulet qui considèrent cette viande maigre comme une source saine de protéines.

Outre la dégradation de la qualité de la viande, les myopathies affectant les muscles pectoraux ont également des répercussions négatives sur la santé et le bien-être animal : les travaux montrent qu'elles s'apparentent à une inflammation chronique des tissus sous-jacents dès le début de la vie des poulets et entravent leurs mouvements, en inhibant les battements des ailes et la motricité.

POINTS À RETENIR

- La qualité de la viande de poulet dépend de la souche, du régime alimentaire, des techniques d'élevage et de la densité d'élevage :
 - Les souches à croissance plus lente ont tendance à avoir une teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) plus élevée dans la viande que les souches à croissance rapide.
 - Les souches à croissance plus lente ont tendance à afficher un pourcentage plus élevé de graisse abdominale, une teneur plus haute en protéines et un pH plus bas.
 - L'accès à un parcours extérieur améliore la teneur en AGPI.
 - L'accès au plein air augmente la teneur en vitamine E.
 - Une plus faible densité d'élevage réduit la teneur en gras intramusculaire, réduit les pertes à la cuisson et par exsudation et augmente le rendement de carcasse et de filet.
- Les souches à croissance rapide, au rendement filet plus élevé, sont plus susceptibles de souffrir de myopathies touchant les muscles pectoraux que les souches à croissance plus lente.
- Les myopathies des muscles pectoraux sont associées à des problèmes de bien-être animal, notamment :
 - une inflammation chronique des muscles ;
 - une augmentation de l'incidence de la mortalité ;
 - une augmentation de l'incidence d'affections pulmonaires ;
 - une hypercontraction musculaire entraînant une altération du mouvement des ailes ;
 - une dégradation de la motricité.

Qualité de la viande : enjeux actuels dans la filière poulet de chair - Revue de la littérature scientifique

Introduction

Le terme "qualité de viande" englobe les caractéristiques générales de la viande, y compris ses propriétés physiques, chimiques, morphologiques, biochimiques, microbiennes, organoleptiques, technologiques, hygiéniques, nutritionnelles et culinaires². De tous les secteurs d'élevage, le poulet de chair représente celui qui connaît la plus forte croissance et qui produit la deuxième viande la plus consommée au monde³. De nombreux facteurs sont susceptibles d'altérer les propriétés qualitatives de la viande de poulet : la souche génétique, l'âge et le sexe des animaux, la nature des muscles et la structure de leurs fibres, le système d'élevage et d'alimentation, les modalités de retrait de l'aliment et de l'eau avant abattage, les conditions de transport et d'abattage et la durée de maturation de la viande sont responsables de la plupart des différences de qualité physique, organoleptique et nutritionnelle de la viande⁴. La plupart sont liés à des modes d'élevage spécifiques : c'est notamment le cas pour l'âge, le sexe ou la souche génétique des animaux.

Ce résumé technique passe en revue les résultats de recherche les plus récents couvrant les thématiques relatives à la qualité de la viande dans le secteur du poulet de chair. La première partie du document aborde des facteurs susceptibles de modifier les propriétés organoleptiques, la composition nutritionnelle et l'acceptabilité de cette viande par les consommateurs : la souche (donc l'impact d'une sélection orientée principalement en faveur des performances zootechniques par rapport aux souches plus performantes en matière de bien-être animal) ou les conditions d'élevage. La deuxième partie décrit les différentes myopathies qui touchent les muscles pectoraux des poulets, leurs multiples effets sur la qualité de la viande et leur prévalence croissante en élevage, conséquences d'une intense sélection en faveur d'une vitesse de croissance, d'un rendement filet et d'un poids corporel accru. La dernière partie met en évidence les liens entre ces myopathies, d'une part, et la santé et le bien-être des poulets affectés, d'autre part.

I. Conditions et pratiques d'élevage affectant les propriétés organoleptiques et la composition nutritionnelle de la viande de poulet de chair

1. Souche génétique

Les souches de poulets de chair les plus couramment rencontrées en élevage ont été sélectionnées principalement sur des critères de performances zootechniques, c'est-à-dire pour leur croissance rapide, leur faible indice de consommation, et l'optimisation de leur rendement filet et de leur poids à l'abattage. Cette sélection a cependant eu des répercussions négatives sur la santé et le bien-être des animaux. A l'inverse, d'autres souches, à croissance plus lente, affichent de meilleurs résultats en termes de bien-être animal : des pattes plus robustes, une mortalité moindre, une meilleure fonction immunitaire, une activité accrue et une expression amplifiée des comportements naturels.

Certaines propriétés de la viande dépendent en partie de critères génétiques (les filets des poulets porteurs de l'allèle GG affichent ainsi une teinte plus jaune⁵). De nombreux facteurs liés aux conditions d'élevage des poulets empêchent de comparer directement la qualité de la viande des souches à croissance rapide avec celles plus performantes sur le plan du bien-être animal. On rencontre le plus souvent les animaux issus de souches à croissance rapide en élevage intensif conventionnel, où ils sont logés en claustration dans de vastes bâtiments nus, sous un éclairage artificiel et avec une densité d'élevage élevée. Au contraire, les souches à croissance plus lente sont plus couramment employées dans les systèmes d'élevage en bâtiment plus respectueux du bien-être animal, en plein-air ou certifiés agriculture biologique. Les animaux y bénéficient généralement de plus d'espace, d'un milieu enrichi et, ne serait-ce que dans les élevages en plein air et en agriculture biologique, d'un accès à un parcours extérieur.

Les poulets à croissance lente sont généralement abattus plus tardivement que leurs congénères à croissance rapide, car ils mettent plus de temps à atteindre leur poids cible. Cet aspect peut fausser les conclusions tirées quant à l'effet de la souche sur la qualité de la viande, puisque l'âge des poulets influence également certains critères de qualité de la viande. Par exemple, les âges d'abattage plus précoces sont associés à une diminution de la saveur de la viande et à une augmentation de la tendreté et de la jutosité⁴. En outre, la teneur en pigments héminiques dans le muscle augmente avec l'âge : la viande devient alors plus rouge et plus sombre⁵. La teneur en protéines, en

lipides et en acides gras est également principalement influencée par l'âge à l'abattage⁵.

La plupart des études réalisées à ce jour ont évalué conjointement l'effet de la souche et des conditions d'élevage sur la qualité de la viande de poulet de chair. La variabilité considérable entre les souches, les modalités de logement et les choix de conduite d'élevage génère des résultats incohérents qui représentent un réel frein pour la comparaison de ces résultats de recherche. En outre, les résultats de l'analyse des caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles de la viande issue d'animaux à croissance lente varient avec la souche étant donné que la plupart des études comparatives emploient des souches présentant des caractéristiques et des taux de croissance variables³.

Nous décrivons ci-après des études comparatives dans lesquelles des individus issus de souches à croissance rapide et de souches à croissance lente sont élevés dans des conditions environnementales identiques :

Doğan et al.⁶ ont comparé les propriétés physiques de la viande et la composition de la carcasse de 200 poulets de souche Ross 308, à croissance rapide (GMQ : 52,6 g/jour), et de 200 poulets de la souche autochtone T2-Y2, à croissance lente (GMQ : 27,8 g/jour), ayant atteint le même poids d'abattage (2 kg). Dans l'ensemble, les individus à croissance lente présentaient un meilleur rendement en viande au niveau des pattes, une proportion plus élevée de graisse abdominale, un filet plus brillant et plus rouge, et un pH plus faible au niveau du filet et des cuisses. Aucune différence n'a été mise en évidence entre les deux génotypes concernant la perte à la cuisson pour les cuisses et le filet, mais la capacité de rétention d'eau des cuisses des poulets T2-Y2 était moindre que celle des individus Ross 308, en lien avec le pH plus faible de cette pièce pour la souche à croissance lente.

Une étude plus récente portant sur des poulets mâles et des femelles, abattus à 2 kg de poids vif, confrontait les propriétés du filet de 20 animaux Ross 308, à croissance rapide, de 20 animaux JA 757, à croissance intermédiaire, et de 20 animaux ISA Dual, à croissance lente : les résultats mettent en évidence une quantité accrue de graisse abdominale, une teneur plus élevée en matière sèche et en protéines, ainsi qu'une moindre résistance au cisaillement et une plus faible quantité de graisse intramusculaire chez les deux souches à croissance plus lente. La capacité de rétention d'eau après congélation était la plus basse chez les individus JA 757 et la plus élevée chez les individus ISA Dual. Les carcasses des poulets Ross 308 présentaient des valeurs de luminosité (couleur L*) et de coloration jaune (b*) plus élevées que celles des deux autres souches⁷.

Dans une étude similaire, Devatkal et al.⁸ ont comparé des poulets de 2 kg de poids vif issus des souches Indbro, à croissance lente (GMQ : 40 g/jour), et Vencobb, conventionnelle (GMQ : 55,6 g/jour), à des poids finaux de 2 kg, afin d'évaluer les différences de qualité et de composition de leur viande ainsi que les préférences des consommateurs. Le rendement filet et le rapport viande/os étaient plus élevés dans la lignée conventionnelle, mais les rendements à la cuisson des pilons et du filet ne présentaient pas de différence significative entre les deux souches. Si le pH du filet n'a pas été mesuré dans cette étude, les cuisses des animaux Indbro faisaient quant à elles état d'un pH, d'une résistance au cisaillement et d'une teneur en protéines plus élevés que chez les individus Vencobb. Les cuisses et les pilons des poulets Indbro présentaient toutefois une capacité de rétention d'eau plus faible en comparaison des poulets Vencobb. Le filet présentait en outre des teneurs en acides gras saturés nettement inférieures chez les individus Indbro. Enfin, une part significative de consommateurs indiquaient préférer la viande et les produits issus des poulets Indbro, à croissance lente.

Une étude antérieure, menée par l'équipe de Sirri et al.⁶, a comparé les qualités nutritionnelles de la viande d'une souche pondeuse, à croissance lente (Lohmann Brown Classic , GMQ : 18,8 g/jour), d'une souche de chair dont la croissance était qualifiée d'intermédiaire (Kabir à cou nu, GMQ : 32,6 g/jour) et d'une souche à croissance rapide (Cobb 700, GMQ : 64,2 g/jour). Il en ressort que la viande provenant de la souche pondeuse (Lohmann Brown Classic) affiche des propriétés nutritionnelles sensiblement « plus saines » (une teneur en lipides plus faible, mais des proportions plus élevées d'acides gras polyinsaturés). Ces caractéristiques correspondent davantage aux attentes des consommateurs en ce qui concerne les produits issus de l'agriculture biologique par rapport aux performances des souches à croissance intermédiaire (Kabir) ou rapide (Cobb 700), même lorsque toutes les souches sont élevées avec accès à un parcours extérieur selon les normes de l'agriculture biologique.

Malgré les variations existantes d'un modèle expérimental à l'autre, ces études s'accordent à dire que les produits issus de souches à croissance lente présentent un pourcentage de graisse abdominale et une teneur en protéines plus élevés, d'une part, et un pH plus faible, d'autre part. En dépit des difficultés à tirer précisément des conclusions de ces travaux, la FAO a décrit certaines conséquences de la sélection génétique sur les valeurs nutritionnelles de la viande de poulet dans son rapport *Contribution des aliments d'origine animale terrestre à des régimes alimentaires sains pour améliorer la nutrition et la santé* (FAO, 2023). Elles sont résumées à l'annexe 1 de ce document.

2. Milieu de vie

La plupart des études publiées à ce jour se sont penchées sur les effets de l'accès à l'extérieur sur la qualité de la viande de poulet. Certaines ont en outre couvert l'incidence éventuelle des perchoirs, mais pas celle d'autres dispositifs d'enrichissement du milieu³.

2.1. Accès à l'extérieur

Une méta-analyse de 2023³ a mis en évidence que la plupart des études démontraient que l'accès à l'extérieur n'avait aucune incidence sur le pH de la viande. Elle rapporte par ailleurs une disparité de résultats relatifs aux teneurs en eau, en protéines, en graisse et en lipides. La plupart des auteurs déduisent toutefois de l'accès à un parcours une absence d'effet, ou bien un effet positif sur la teneur en protéines et un effet positif global sur la composition en lipides. La plupart mentionnent également une augmentation de la capacité de rétention d'eau et une réduction de la perte à la cuisson chez les poulets ayant accès à l'extérieur.



Une étude examinant l'effet isolé du mode d'élevage⁹ a montré que l'accès à l'extérieur avait un impact négatif sur le poids à l'abattage, mais positif sur la qualité, le goût et la composition de la viande de poulets Sasso T451, à croissance lente, abattus à 72 jours, par rapport aux individus de la même souche élevés en claustration.

Des résultats contradictoires apparaissent lors de l'étude de l'impact de l'accès à l'extérieur sur les propriétés organoleptiques, et plus particulièrement la couleur de la viande d'après les valeurs de luminosité (L^*) et de coloration jaune (b^*), alors qu'aucun impact n'a été rapporté sur la coloration rouge (a^*) de la viande. Aucune différence ou effet positif lié à l'accès à l'extérieur n'ont été signalés sur les plans du goût, de l'odeur et de la texture³.

De nombreuses études ont évalué l'effet concomitant de la souche et du mode d'élevage sur la qualité de la viande de poulet^{10,11}. Par exemple, une analyse à grande échelle résumant 28 études a comparé les effets de l'accès à un parcours extérieur sur

la qualité de la viande de 16 souches à croissance rapide, de deux souches à croissance intermédiaire et de 14 souches à croissance lente¹². Ces travaux révèlent que l'accès au parcours est associé à une réduction de la concentration de graisse au niveau du filet, des cuisses et des pilons, et à un accroissement tendanciel de la concentration en protéines dans ces morceaux. Toutefois, la même méta-analyse a également indiqué que le génotype des animaux (donc la vitesse de croissance plus ou moins élevée) n'était pas une variable adaptée à la comparaison des divers rendements des carcasses et des propriétés de la viande en raison de la variabilité importante des conditions (vitesse de croissance, aliment distribué, modalités de logement, etc.) entre les études.

2.2. Utilisation des perchoirs

Aucune des études incluses dans la méta-analyse de 2023³ ne faisait état d'un quelconque effet des perchoirs sur le pH, la teneur en eau ou en lipides. Aucun effet de la mise à disposition de perchoirs n'a été constaté sur les propriétés physiques de la viande comme la capacité de rétention d'eau et les pertes à la cuisson ou par exsudation. Deux études ont signalé une réduction de la couleur L* en cas d'installation de perchoirs ou de perchoirs dotés d'un système de refroidissement¹³.

3. Densité d'élevage

On a l'habitude d'associer la diminution de la densité d'élevage à une augmentation de la qualité de la viande³. Une étude menée sur des poulets de souche Arbor Acres, à croissance rapide, conclut que les pertes à la cuisson et par exsudation de la viande étaient plus faibles pour les individus élevés sous une densité d'élevage faible (8 poulets/m²) ou intermédiaire (14 poulets/m²) par rapport à ceux élevés sous une densité plus élevée (18 poulets/m²)¹⁴. L'élevage de poulets Cobb sous une densité plus faible (9 poulets/m²), maintenue constante au cours des deux dernières semaines d'élevage, s'accompagne d'une capacité de rétention d'eau de la viande plus faible par rapport à des carcasses d'animaux élevés sous une densité plus forte (18 poulets/m²)¹⁵. La même étude fait également état d'une augmentation de la valeur de la couleur L* pour la viande d'animaux élevés sous de plus faibles densités. Wu et al.¹⁴ constatent un effet similaire en comparant deux densités d'élevage : sous 14 poulet/m² et 18 poulets/m².

La diminution de la densité d'élevage est également associée à une amélioration de la tendreté et de la jutosité de la viande, et corrélée négativement avec la quantité de graisse intramusculaire, moins élevée sous de faibles densités d'élevage¹⁶.



Les résultats issus de la littérature scientifique portant sur le lien entre les densités d'élevage et les rendements de carcasse et du filet s'avèrent contradictoires. Toutefois, la majorité des articles font état de rendements plus élevés sous des densités situées entre 10 et 15 poulets/m² par rapport à des densités de 16 à 20 poulets/m²³.

II. Myopathies des muscles pectoraux

Au cours des 50 dernières années, la durée d'élevage des poulets permettant d'atteindre leur poids d'abattage a été réduite d'environ 50 % : les souches actuelles pèsent environ 2 kg après 40 jours, voire moins¹⁷. De nos jours, le poids vif à 42 jours d'âge d'un poulet à croissance rapide (souche Ross 308) est plus de quatre fois supérieur à celui de l'une des souches les plus courantes des années 50¹⁸.

Causes de saisie	Hubbard			Ross		
	Median (%)	Q1 (%)	Q3 (%)	Median (%)	Q1 (%)	Q3 (%)
Ascites	0.08	0.05	0.12	0.54	0.34	0.85
Fractures	0.03	0.01	0.05	<0.00	0.00	0.01
Péritonite	0.03	0.01	0.06	0.12	0.07	0.21
Maladie cardiaque	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
Lésions cutanées	0.06	0.03	0.13	0.17	0.09	0.32
Arthrite	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
Lésions/saignements	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.01
Hépatite	0.04	0.02	0.09	0.16	0.08	0.33
Décoloration	0.12	0.07	0.19	0.21	0.11	0.40
Gabarit	0.09	0.05	0.16	0.32	0.18	0.54
Tumeurs	<0.00	0.00	0.01	<0.00	0.00	0.00
Autres	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
Total	<0.00	0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
	0.56	0.42	0.77	1.96	1.48	2.67

Figure 1. Fréquence relative des causes de saisies à l'abattoir au sein de deux lots de poulets Hubbard JA787 (n = 2 436 individus) et Ross 308 (n = 1 859 individus). D'après Forseth et al.,

Cette augmentation vertigineuse du poids à l'abattage et du rendement en muscle n'a cependant pas été sans conséquences sur la santé et le bien-être des animaux et la composition des carcasses¹⁹. Les souches à croissance rapide affichent des taux plus élevés de refus à l'abattoir en raison de problèmes divers dégradant les carcasses comme l'ascite, de la décoloration, la cellulite et les périhépatites^{20,21}. Dans une étude professionnelle récente, comparant les souches Ross 308, à croissance rapide, et JA787, à croissance plus lente, sur des critères de saisie de carcasses à l'abattoir, il a

été démontré que les poulets Ross 308 présentait 6,5 fois plus d'ascites et 2 fois plus de décoloration que les JA787 (Figure 1)²².

L'intégrité de la carcasse des poulets de chair est principalement corrompue par l'éventail de maladies inflammatoires affectant les muscles du filet, également appelées myopathies des muscles pectoraux. La croissance rapide et la sélection pour un haut rendement en muscle jouent probablement un rôle central dans l'augmentation de la fréquence d'apparition de ces myopathies affectant principalement les muscles *Pectoralis major* (muscle pectoral superficiel), et *Pectoralis minor* (muscle pectoral profond), actuellement observée en élevage de poulets. La pression de sélection visant à optimiser la croissance et le rendement filet a modifié le métabolisme et la musculature des poulets, dont les fibres musculaires se sont allongées et épaissies (diamètre trois à cinq fois plus élevé), sont plus fréquemment présentes sous forme hypercontractée et sont moins vascularisées (par les capillaires sanguins). Les tissus musculaires sont ainsi moins approvisionnés en nutriments et débarrassés des métabolites et des toxines²³.

Les myopathies des muscles pectoraux sont plus susceptibles de se développer chez des animaux dont les muscles sont fortement et continuellement sollicités au cours de la croissance. Bien qu'elles affectent l'apparence et la structure des muscles de manière distinctes, elles découlent toutes d'un dérèglement ou d'un dysfonctionnement de la structure, du métabolisme ou du processus de réparation des tissus des muscles pectoraux²⁴. Les plus couramment rencontrées en élevage de poulets sont décrites dans les annexes 2 et 3.

Étant donné qu'elles sont à l'origine d'une baisse du rendement carcasse et de déclassements, voire de saisies à l'abattoir, ces pathologies ont un impact économique non négligeable. Dans les cas sévères, accompagnés de signes inflammatoires (ex : hémorragie pétéchiale, exsudat gélatineux), les autorités réglementaires peuvent ordonner la saisie de la carcasse dans son intégralité (comme en Europe) ou le parage des zones touchées²⁵. Une estimation de 2020 considère que le défaut « *white striping* » est responsable d'environ un milliard de dollars de pertes en Amérique du Nord du fait de la dégradation des rendements en filet (pour cause de parage, de pertes par exsudation ou à la cuisson) et/ou de la perte de valeur liée au déclassement ou à la saisie des carcasses²⁴.

1. Défaut « *white striping* »

Le défaut « *white striping* » est caractérisé par l'apparition de stries blanches constituées de graisse et de tissu conjonctif se développant parallèlement aux fibres musculaires du filet, côté peau ; les muscles de la cuisse sont plus rarement atteints. La

quantité et l'épaisseur des lignes blanches peuvent varier d'un poulet à l'autre. La partie antérieure du muscle est la plus fréquemment touchée tandis que la région postérieure l'est rarement. La gravité du défaut peut être estimée à partir de la répartition et de l'épaisseur des stries blanches²⁶ (Figure 2).

- *Facteurs de risque*

Bien qu'une héritabilité modérée ait été estimée pour le défaut « *white striping* » ($h^2 \leq 0,338$)²⁷, une récente étude²⁸ sur deux souches, soumises à une sélection divergente pour le pH du filet, a montré que ce défaut reposait sur une solide base génétique. L'étude révèle que l'augmentation de l'incidence et de la gravité du défaut « *white striping* » était fortement corrélée à un poids corporel et à un rendement filet accru, ainsi qu'à la quantité de graisse intramusculaire au sein du muscle *Pectoralis major*. Il a été démontré que l'incidence et la gravité de ce défaut étaient également supérieures chez les individus issus des souches à rendement filet plus élevé²⁹⁻³¹. Par exemple, une étude comparant des lignées pures de poulets au rendement filet modéré ou élevé a relevé que 49 % des individus de la souche à rendement élevé présentaient un certain degré de « *white striping* », contre 14 % d'individus dans la lignée à rendement modéré²⁷.

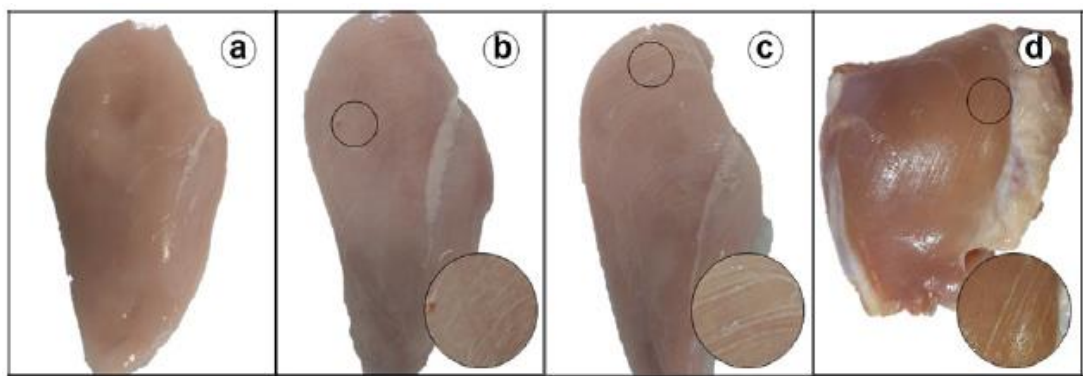


Figure 2. (a) Filet de poulet normal, sans signe de myopathie, (b) filet modérément strié (striations < 1 mm sur toute la surface du muscle), (c) filet gravement atteint (striations > 1 mm sur toute la surface du muscle), et (d) muscle de cuisse modérément strié. (D'après Petracci et al., 2019)

- *Occurrence*

Même s'il a été identifié depuis les années 90 dans l'industrie de la volaille, le défaut « *white striping* » fait désormais l'objet de signalements de plus en plus fréquents chez les poulets de chair : il s'agit de la myopathie la plus courante au niveau du filet²⁵ et on estime qu'elle peut atteindre jusqu'à 50 % des filets en Italie, en Espagne, en France et au Brésil²³. Par ailleurs, une évaluation réalisée par Kuttappan et al. a montré que 98 %

des filets issus de poulets américains âgés de neuf semaines présentaient un certain degré de ce défaut²⁶.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

Les consommateurs peuvent se détourner de filets présentant du « *white striping* » en raison de la dégradation de l'aspect des pièces. Il a ainsi été démontré que l'intention d'achat des consommateurs était moindre pour de la viande touchée par ce défaut en comparaison de morceaux intacts¹⁸. Les participants de l'étude estimaient que les striations blanches d'un filet étaient anormales, et ce, avant même d'être informés de la raison de leur apparition. En outre, les lésions étaient étendues, plus les consommateurs dénigraient les produits touchés³². Il a été constaté que les précurseurs aromatiques du goût umami dans la viande diminuaient significativement au sein des filets présentant du « *white striping* »³³.

La viande concernée présente une teneur plus élevée en graisse et plus faible en protéines, ainsi qu'un pH global plus élevé. Ces morceaux présentent de plus hauts niveaux de collagène, les rendant potentiellement moins digestes, et de potentielles carences en acides aminés³⁴⁻³⁶.

2. Défaut « *wooden breast* »

Le défaut « *wooden breast* » (également appelé « *woody breast* » ou filet de bois) se caractérise par un filet dur, bombé et pâle. Il se développe initialement sous la forme d'une lésion banale et localisée (souvent sur la portion antérieure du muscle) qui se propage ensuite à l'ensemble du muscle au fil de la croissance des poulets (Figure 3). Sur le plan visuel, les filets atteints peuvent en outre présenter une hémorragie pétéchiale et un liquide visqueux à la surface du muscle, côté peau. Ces traits distinctifs n'apparaissent toutefois pas systématiquement (Aviagen, 2019). Ce défaut touche principalement le muscle *Pectoralis major*, mais le muscle *Pectoralis minor* peut aussi présenter des zones à texture dure²³.



Figure 3. Filet sain (à gauche) et filet sévèrement touché par le défaut « *wooden breast* » (à droite) (D'après

Des échantillons prélevés par biopsie sur des poulets Cobb 500 âgés de deux semaines ont montré que les animaux qui développeraient ensuite un défaut présentaient une dérégulation des gènes, similaire au développement de troubles métaboliques humains comme le diabète. Malgré la nécessité de poursuivre les travaux sur cette thématique, ces résultats préliminaires suggèrent que le défaut « *wooden breast* » est d'abord et avant tout un trouble métabolique caractérisé par l'accumulation anormale de graisse dans le muscle *Pectoralis major*³⁷.

- *Facteurs de risque*

La sélection des poulets en faveur d'un accroissement du poids vif et du rendement filet semble être particulièrement corrélée à l'incidence du défaut « *wooden breast* » au sein des souches actuelles, faisant ainsi écho aux conclusions semblables, tirées pour le « *white striping* ». Les poulets dont le gain de poids est plus rapide en début d'élevage (dès la première ou deuxième semaine) sont plus susceptibles d'être atteints de « *wooden breast* » à l'approche du poids d'abattage^{38,39}. Mailia et al.⁴⁰ ont ainsi constaté qu'une augmentation de 1 % du poids du filet de poulets Ross 208 (à croissance rapide) s'accompagne d'une augmentation de la probabilité de développement de cas graves de « *white striping* » de 50,9 % et de 61 % pour le « *wooden breast* ». En outre, le décalage de l'âge d'abattage, pour le faire passer de 6 à 7 semaines est associé à une augmentation de 56,3 % du risque d'apparition de cas graves de « *white striping* ».

Au vu de la faible héritabilité du « *wooden breast* » rapportée dans leurs travaux, les chercheurs suggèrent que l'identification de facteurs liés aux conditions et à la conduite d'élevage (comme les températures d'incubation), qui contribuent à l'apparition de ce défaut, permettrait d'en réduire significativement l'occurrence au sein des lots²⁷. Cependant, les résultats suggèrent également que les pratiques d'élevage visant à limiter la consommation d'aliment ou sa disponibilité en nutriments en début de vie n'améliorent pas⁴¹, voire amplifient⁴² l'incidence et la gravité des myopathies constatées à l'abattage des lots de poulets.

- *Occurrence*

L'incidence de « *wooden breast* » n'est pas précisément connue, mais certaines études ont rapporté que le défaut concernait jusqu'à 38 % des poulets pour les souches les plus répandues (à croissance rapide)⁴³, 53,2 % des poulets à rendement filet élevé (chiffres relevés par une usine de découpe en Italie)³⁹ ou encore 61,9 % des filets (chiffres relevés dans une usine de transformation chinoise)⁴⁴.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

La viande présentant un défaut « *wooden breast* » est plus dure et plus difficile à mastiquer. En outre, sa capacité de rétention d'eau et d'absorption de marinade sont réduites, tandis que les pertes par exsudation ou à la cuisson sont plus importantes²⁵.

Sur le plan nutritionnel, ces filets sont moins riches en protéines et affichent une carence en certains acides aminés essentiels ainsi qu'un profil minéral anormal²⁵.

3. « Filet spaghetti »

Le « filet spaghetti », ou filet mou, filandreux et spongieux, se caractérise par la disparition du tissu conjonctif de structure du muscle *Pectoralis major* : les fibres musculaires, dont l'aspect cylindrique et fin rappelle celui des spaghettis, se relâchent et se désagrègent^{23,25} (Figure 4).

- *Facteurs de risque*

Les signalements de « filets spaghetti » touchant les poulets sont plus récents que ceux concernant les autres myopathies, les travaux visant à identifier les facteurs à l'origine de ce défaut sont donc actuellement en cours.

Selon une hypothèse, la sélection de poulets à croissance plus rapide a contribué à l'apparition accrue de ce défaut⁴⁵. Les poulets de chair sont abattus à des âges toujours plus bas : leur développement est donc moins complet au moment de la transformation de la viande. Baldi et al.⁴⁶ ont par exemple démontré que les « filets spaghetti » présentent moins de réticulation du collagène au niveau superficiel que les filets normaux, signe de l'absence d'une charpente de tissu conjonctif adaptée au muscle, ce qui facilite la séparation des fibres musculaires.

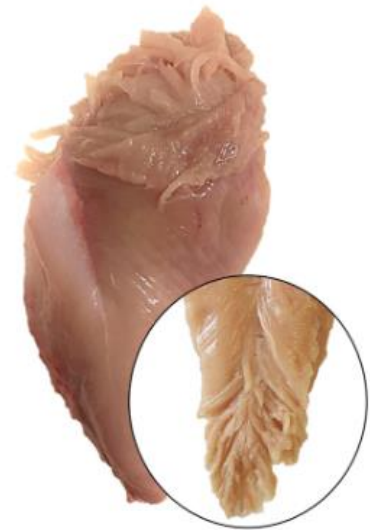


Figure 4. Cas sévère de « filet spaghetti » : le muscle atteint présente des lacérations sur toute sa surface. (D'après Baldi et al., 2021).

Le guide d'Aviagen consacré aux myopathies des muscles pectoraux avance une hypothèse liant l'accumulation d'acide lactique dans les tissus musculaires après la mort au développement de « filets spaghetti »²⁵. L'acidité résultant de l'accumulation d'acide lactique serait à l'origine de diverses répercussions négatives sur l'intégrité structurelle du tissu conjonctif, conduisant de fait à la séparation des faisceaux de fibres



musculaires. Les études montrent toutefois que les « filets spaghetti » affichent un pH plus élevé que les filets sains, ce qui suggère que les tissus touchés par le défaut sont plus basiques (donc moins acides)^{45,46}.

L'alimentation végétale des poulets de chair, présentant des concentrations insuffisantes en acides aminés (comme la proline), nécessaires à la croissance du tissu conjonctif, est également suspectée d'augmenter l'incidence de « filets spaghetti »²⁵.

- *Occurrence*

La détermination de l'incidence de « filets spaghetti » est brouillée par la variabilité des critères de classification utilisés par les abattoirs, d'une part, et par la comorbidité entre ce défaut et d'autres myopathies plus étudiées, d'autre part, mais on estime qu'elle peut atteindre 20 %⁴⁵. Une étude italienne a rapporté une prévalence de 21 % d'après l'analyse de 16 000 filets⁴⁷, et une étude brésilienne a conclu qu'environ 10 % des 5 580 filets examinés faisaient état de ce défaut⁴⁸.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

La viande de « filet spaghetti » peut être difficile à trancher et avoir une texture plus molle après la cuisson^{25,46}. Lors de la transformation, elle ne peut être valorisée sous forme de produits nécessitant une intégrité normale. Les morceaux sévèrement touchés sont habituellement déclassés et entrent dans la composition de produits transformés. Toutefois, l'émergence du défaut « spaghetti » représente un enjeu important pour l'industrie agroalimentaire face à la demande croissante des consommateurs pour des filets finement tranchés, étant donné que ce défaut n'est détecté, le plus souvent, qu'après le tranchage⁴⁵.

En ce qui concerne la composition nutritionnelle, l'intégralité du tissu (superficiel et profond) des « filets spaghetti » présente une teneur plus élevée en eau et plus faible en protéines (10 % de moins) que les muscles intacts⁴⁵. Ce défaut est également associé à des valeurs de coloration jaune plus élevées et à des pertes par exsudation et à la cuisson plus importantes⁴⁵.

4. Coexistence de « filets spaghetti », de « white striping » et de « wooden breast »

L'apparition d'anomalies touchant le muscle *Pectoralis major* fait l'objet d'observations et d'études depuis plus d'une dizaine d'années. Elles sont responsables de modifications histologiques sous-jacentes susceptibles de s'entremêler et de se recouper⁴⁹. Malgré leurs caractéristiques distinctes sur le plan phénotypique, on a par

exemple émis l'hypothèse que le « *white striping* », le « *wooden breast* » et le « *filet spaghetti* » présentent des caractéristiques histologiques communes⁵⁰ (Figure 5) et que ces pathologies sont souvent concomitantes^{34,50}.


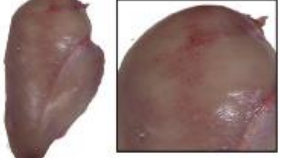

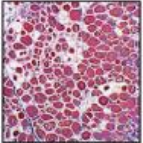
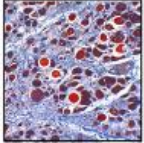
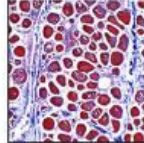
	White Striping	Wooden Breast	Spaghetti Meat
Phénotype			
Description	Striations blanches d'épaisseur variable, parallèles aux fibres musculaires	Zones bombées et pâles, à la texture dure, présentant souvent une hémorragie pétéchiale	Perte d'intégrité et séparation des faisceaux de fibres musculaires composant le tissu
Aspect microscopique			
Caractéristiques pathognomoniques microscopiques	Dépôts accrus de lipides au niveau du péricaryon (lipidose)	Prolifération de tissu conjonctif au niveau du péricaryon pouvant mener à une fibrose	Amoindrissement progressif du tissu conjonctif composant les septa du péricaryon
Caractéristiques histologiques communes	Modifications en profondeur de l'architecture musculaire dont : présence de fibres au profil arrondi, alignement de noyaux cellulaires et internalisation, hypercontraction des fibres, dégénérescence jusqu'à la lyse et régénération ponctuelle concomitantes, infiltration de cellules inflammatoires, altération des septa du péricaryon		

Figure 5. Caractéristiques phénotypiques et microscopiques de muscles *Pectoralis major* en cas de « *white striping* », de « *wooden breast* » et de « *filet spaghetti* » (d'après Soglia et al., 2021)

Une étude de 2022 s'est penchée sur la cooccurrence des défauts de « *white striping* », de « *wooden breast* » et de « *filet spaghetti* »⁴⁹ en se basant sur 179 filets de poulets mâles et femelles de souche Ross 708 et Cobb 500, et de poulets mâles Ross 708. Il en ressort que les défauts de « *filet spaghetti* », de « *wooden breast* » et de « *white striping* » partagent des caractéristiques histologiques proches (dégénérescence musculaire, inflammation, accumulation interstitielle de graisse et de tissu fibreux) et une sévérité équivalente. Le processus de régénération qui a lieu dans les tissus touchés par le « *white striping* » et le « *wooden breast* » ne permet pas de produire de nouvelles fibres musculaires, mais entraîne un dépôt de graisse et de tissu conjonctif au sein du filet²⁵. Tous les tissus musculaires présentent un certain degré de dégénérescence et de régénération. Toutefois, l'entretien ininterrompu d'une croissance élevée sollicite bien trop fortement les ressources nécessaires au maintien du métabolisme musculaire. Ce déséquilibre entraîne une dégradation des tissus et des hémorragies observés dans les cas de « *white striping* » et de « *wooden breast* ».

- *Facteurs de risque*

Plusieurs études récentes ont rapporté que les souches à rendement filet élevé sont plus susceptibles de recevoir des scores élevés lors de l'évaluation de la sévérité des défauts « *wooden breast* » et « *white striping* »^{51,52}. Le pourcentage d'animaux présentant une dégénérescence des fibres musculaires du muscle *Pectoralis major* (caractéristique commune au « *white striping* » et au « *wooden breast* ») augmente aussi avec l'âge des poulets⁴¹ (Figure 2). Ces myopathies sont plus susceptibles de se développer (ou d'atteindre un stade avancé) lorsque les muscles sont fortement et continuellement sollicités au cours de la croissance : les poulets aux muscles du filet plus lourds et abattus à un âge plus avancé sont ainsi plus affectés par les défauts « *wooden breast* » et « *white striping* »^{26,41,52}.

Des travaux ont montré que l'incidence de ces défauts est plus élevée chez les poulets mâles que chez les femelles, tant pour le « *white striping* »²⁹ que pour le « *wooden breast* »³⁰. Cette estimation est toutefois potentiellement faussée car les mâles atteignent généralement un poids d'abattage plus élevé³⁰. En revanche, une autre étude a révélé une incidence similaire de dégénérescence des fibres musculaires dans des prélèvements effectués sur des tissus du filet de poulets de chair mâles et femelles entre 14 et 46 jours d'élevage⁴¹.

- *Occurrence*

Le « *white striping* » et le « *wooden breast* » faisant l'objet d'études depuis de nombreuses années, de nombreux résultats démontrent la concomitance de ces deux défauts. Une étude a ainsi montré, suite à l'analyse de 2 600 filets de poulet dans un abattoir américain, que 94,2 % des morceaux touchés par le « *white striping* » l'étaient aussi par le « *wooden breast* »⁵³.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

Outre la résistance au cisaillement accrue des filets « *wooden breast* », synonyme d'une tendreté amoindrie, les filets sévèrement touchés par les défauts « *wooden breast* » et « *white striping* » voient se développer des processus inflammatoires qui induisent une rétention de liquide (œdème), à l'origine de leur teneur en eau plus élevée, mais d'une capacité de rétention d'eau plus faible (et de pertes plus élevées par exsudation ou à la cuisson) par rapport aux filets sains^{19,54}. En outre, un pH plus élevé réduit la probabilité de valorisation du muscle à la transformation^{26,30,34,35,47}. La figure 6 synthétise les principaux effets conjoints des défauts « *white striping* » et « *wooden breast* » sur la qualité de la viande.



Epaisseur filet (mm) Catégorie* Postérieure	pH (à 24 h)	Pertes exsud.(%)	Note PHEM	Coloration b*	Rendem..filet (%)	Antérieure
6 wk						
NORM (n = 28)	5.89 ^b ± 0.03	0.49 ^b ± 0.19	0.07 ^c ± 0.00	2.2 ^b ± 0.3	21.4 ^c ± 0.3	34.4 ^b ± 0.8
SEV-WS (n = 48)	5.96 ^{a,b} ± 0.02	0.92 ^b ± 0.15	0.83 ^b ± 0.08	3.8 ^a ± 0.2	24.4 ^b ± 0.3	43.5 ^a ± 0.6
SEV-WB (n = 24)	6.04 ^a ± 0.03	2.14 ^a ± 0.19	1.00 ^{a,b} ± 0.12	3.7 ^a ± 0.3	25.7 ^a ± 0.4	43.9 ^a ± 0.8
SEV-WS/WB (n = 39)	6.02 ^a ± 0.02	1.70 ^a ± 0.15	1.21 ^a ± 0.09	4.4 ^a ± 0.2	25.1 ^{a,b} ± 0.3	44.6 ^a ± 0.6
9 wk						
NORM (n = 40)	5.93 ^b ± 0.02	0.51 ^b ± 0.15	0.03 ^c ± 0.07	3.4 ^c ± 0.3	23.8 ^b ± 0.3	44.8 ^b ± 0.7
SEV-WS (n = 16)	5.94 ^b ± 0.04	0.45 ^b ± 0.24	0.31 ^b ± 0.12	4.7 ^b ± 0.4	24.9 ^{a,b} ± 0.4	47.1 ^{a,b} ± 1.1
SEV-WB (n = 12)	6.15 ^a ± 0.04	2.06 ^a ± 0.27	1.00 ^{a,b} ± 0.14	5.0 ^{a,b} ± 0.5	25.5 ^a ± 0.5	48.7 ^{a,b} ± 1.3
SEV-WS/WB (n = 31)	6.12 ^a ± 0.03	1.31 ^a ± 0.17	1.32 ^a ± 0.08	6.1 ^a ± 0.3	26.0 ^a ± 0.3	50.1 ^a ± 0.8

^{a-c} Des exposants distincts indiquent une différence significative (P < 0,05) au sein de chaque colonne

WS : « white striping » / WB : « wooden breast »

***NORM** : pas de défaut ou cas léger de WS (0/1) et de WB (0/1) ; **SEV-WS** : cas sévère ou très sévère de WS (2/3) et cas normal ou léger de WB (0/1) ; **SEV-WB** : cas intermédiaire ou sévères de WB (2/3) et cas normal ou léger de WS (0/1) ; **SEV-WS/WB** : cas intermédiaire ou sévère de WS (2/3) et de WB (2/3).

Figure 6. Effet des défauts « white striping » et/ou « wooden breast » sur divers paramètres de la carcasse et de la qualité de la viande chez des poulets de chair âgés de six et neuf semaines et issus d'une souche à haut rendement filet. (D'après Kuttappan et al., 2017).

Une étude de 2019 conclut que les filets touchés par les défauts « wooden breast », « white striping » ou leur conjugaison présentaient des teneurs plus élevées en graisse et en collagène, ainsi que des niveaux réduits de protéines et de pigments héminiques³⁶. Baldi et al.³⁴ ont constaté que les échantillons de 96 filets de poulets mâles de souche Ross 308 présentaient des taux de protéines et de cendres significativement moins élevés, mais une teneur en eau plus élevée lorsque les muscles étaient touchés par les défauts « filet spaghetti », « white striping » ou leur conjugaison. Cependant, la teneur en graisse du filet n'était affectée que dans les cas où les morceaux étaient simultanément touchés par les myopathies responsables des défauts « spaghetti » et « white striping ».

III. Myopathies du muscle *Pectoralis minor*

1. Défaut des aiguillettes vertes

Le défaut des aiguillettes vertes, également connu sous le nom de « maladie du muscle vert », est une affection dégénérative du filet, caractérisée par la nécrose et l'atrophie du muscle *Pectoralis minor*, qui prend alors une teinte verte (Figure 7). Ce muscle est entouré d'une membrane inélastique (ou fascia) et situé entre le sternum et le muscle *Pectoralis major*, ce qui limite son expansion pendant l'effort : il en résulte une pression élevée qui restreint la circulation sanguine et provoque une nécrose ischémique⁵⁵.

- *Facteurs de risque*

La maladie du muscle vert semble être plus fréquente chez les souches hautes productrices, à haut rendement musculaire⁵⁶. Bailey et al. ont rapporté que le développement de cette affection paraissait plus influencé par les facteurs liés aux conditions d'élevage que par la génétique dans les lignées de poulets à rendement filet intermédiaire et élevé²⁷. Son incidence pourrait néanmoins rester en constante augmentation tant que le secteur du poulet garde comme première priorité l'optimisation du rendement filet et que les animaux sont abattus à un poids toujours plus élevé⁵⁷.



Figure 7. Filet de poulet présentant un défaut des aiguillettes vertes au niveau du muscle Pectoralis minor. (D'après Aviagen, 2019)

La maladie survient principalement suite à l'augmentation de l'activité des poulets, qui s'accompagne de battements d'ailes, en particulier après 35 jours⁵⁷. En élevage, les poulets sont inactifs la plus grande partie du temps : le muscle du filet et le tissu conjonctif qui l'entoure deviennent relativement inélastiques du fait de leur faible sollicitation. Toutefois, les animaux restent susceptibles de battre des ailes de manière inopinée sous l'effet de la surprise (lors du passage d'une personne, suite à un bruit inattendu ou un changement d'éclairage, au cours de la manipulation pendant le ramassage ou en cas de perturbation de l'accès à l'aliment et à l'eau...), des situations susceptibles d'entraîner un défaut d'aiguillettes vertes^{58,59}. Les poulets issus de souches à rendement filet élevé sont, de fait, incapables de gérer correctement une activité musculaire accrue (par exemple, lors d'une perturbation de leur milieu qui les pousse à fuir tout en battant des ailes) car leurs muscles pectoraux présentent un handicap tant physique que structurel. Des travaux ont induit la maladie du muscle vert chez des poulets hybrides Ross × Cobb 500 (à croissance rapide) en les faisant artificiellement battre des ailes, ce qui suggère que cette activité, combinée à leur conformation physique, expose les animaux à haut rendement filet à un plus grand risque d'endommager leurs tissus⁵⁷.

- *Occurrence*

Le défaut des aiguillettes vertes n'est pas détecté avant l'étape de désossage lors de la transformation : il peut constituer un enjeu important en termes de qualité de viande, car les filets affectés par ce défaut sont parés, ce qui entraîne un déclassement du filet⁶⁰. Son occurrence semble être plus faible que celle d'autres myopathies des muscles pectoraux : les études rapportent que la maladie touche entre moins de 1 % et 17 % des lots d'élevage^{57,59}.

- Répercussions organoleptiques et nutritionnelles

Lorsque la maladie du muscle vert atteint un stade avancé, la viande affectée devient plus dure et plus fibreuse. La couleur des filets est également altérée et la viande prend une teinte verte. Cela peut avoir des répercussions économiques négatives étant donné l'importance cruciale de la couleur et de la texture pour les consommateurs⁶⁰.

Des études ont démontré qu'en comparaison de viandes saines, les morceaux concernés par le défaut des aiguillettes vertes présentaient une teneur en eau et une capacité de rétention d'eau plus élevées, des taux de protéines et de cendres plus faibles, et des concentrations en lipides plus hautes (car les fibres endommagées sont remplacées par du tissu adipeux). En outre, la viande défectueuse présentait une composition altérée du profil en acides gras, aboutissant à une valeur nutritionnelle réduite⁶⁰. Même si ce défaut affecte le muscle *Pectoralis minor*, des travaux montrent que le muscle *Pectoralis major* des animaux concernés peut également développer une capacité de rétention d'eau moindre et des altérations dégénératives⁵⁸.

2. Viande PSE

La viande PSE, ou pâle, molle et exsudative (Figure 8), affiche généralement un pH inférieur à 5,8 en raison d'une chute rapide du pH après la mise à mort alors que la température de la carcasse reste élevée, ce qui entraîne la dénaturation des protéines myofibrillaires et sarcoplasmiques⁶¹. On peut les classer en deux types : les « viandes à acidification rapide », pour lesquelles le pH chute en dessous de 6 dans l'heure qui suit la mort, et les « viandes acides », pour lesquelles la vitesse d'acidification est plus ou moins classique, mais le pH ultime est inférieur à la normale (moins de 5,8).

- Facteurs de risque

Outre la sélection génétique favorisant les performances zootechniques, les conditions d'élevage jouent également un rôle dans le développement de viande PSE au niveau du filet des poulets. Plusieurs études lient son occurrence au stress thermique (à la fois pour des températures trop élevées et trop basses) et à d'autres conditions contribuant au stress avant l'abattage, notamment



Figure 8. Filet de poulet classé comme normal (gauche) ou PSE (droite) d'après les valeurs de pH et de luminosité (couleur L*) mesurées à 24 h post-mortem (Source d'origine : Soares, 2002; d'après Shimokomaki et al., 2017)

le ramassage, les conditions de placement et les temps d'attente dans les caisses de transport, le transport en lui-même et le déchargement⁶². Il est donc possible d'améliorer la qualité de la viande, en plus de la bienveillance animale, en réduisant le stress à ce stade de fin de vie des poulets⁶¹.

Il est par ailleurs possible de diminuer l'incidence de viandes PSE en incorporant des niveaux élevés de lysine dans l'aliment. Cette stratégie peut toutefois limiter l'utilisation d'autres acides aminés à des fins énergétiques.

Les individus issus de souches à croissance rapide et au poids plus élevés sont prédisposés à développer une viande PSE du fait de leur capacité de thermorégulation réduite²⁵. Bien qu'il soit possible de sélectionner des poulets pour optimiser le rendement filet tout en réduisant l'incidence de viande PSE (en orientant la sélection sur des animaux dont la viande présente un pH ultime plus élevé), cette stratégie pourrait involontairement aboutir à la production de viande sèche, ferme et sombre dite « viande DFD » (pour *dry, firm, and dark* ou « viande à coupe sombre »), aux caractéristiques microbiennes et sensorielles dégradées (à la durée de conservation et à la capacité de rétention de l'eau amoindries)²⁵.

- *Occurrence*

Les premiers signalements de viande PSE remontent aux années 90. La prévalence varie considérablement en fonction des conditions de vie des animaux comme la période de l'année ou les conditions de transport⁶³. Elle s'étale toutefois de 2 % à 20 %⁶⁴ ; une étude brésilienne ayant même relevé une proportion de 25 % à 37 % de poulets présentant un certain degré de viande PSE⁶⁵.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

La viande PSE peut être déclassée à la transformation en raison de la perte par exsudation et de la couleur pâle. En outre, sa capacité de rétention d'eau et de marinade sont réduites. Les consommateurs sont à même de distinguer une viande PSE d'une viande normale à la fois visuellement et au goût, et la viande normale a leur préférence sur la base de ces critères⁶¹.

Par rapport à un filet normal, la viande PSE affiche un pH significativement plus bas, une luminosité L* plus élevée, une perte par exsudation plus importante, une capacité plus faible d'absorption de marinade et un rendement à la cuisson plus faible. La solubilité des protéines des échantillons de viande PSE était plus faible que celle des échantillons normaux, ce qui suggère une plus grande dénaturation des protéines⁶⁴.

Certaines stratégies de transformation, telles que l'inclusion d'agents alcalins (comme les phosphates), peuvent aider à contrebalancer le faible pH de la viande PSE.

3. Défaut de « gaping » du muscle *Pectoralis minor*

Une étude italienne de 2019⁶⁶ a fait état de l'émergence d'une nouvelle myopathie touchant le filet, caractérisée par une apparente séparation des faisceaux de fibres musculaires, sous forme de « lamelles » présentes à un ou plusieurs emplacements au niveau de la surface ventrale externe du muscle *Pectoralis minor* (Figure 9). Cette affection présente des similitudes avec observations de détachements de feuillets musculaires faites sur les filets de poissons.

- *Facteurs de risque*

Soglia et al.⁶⁶ ont émis l'hypothèse que le phénomène de « gaping » pourrait découler de la sélection favorisant les rendements filet accrus, responsable de la réduction du volume de la cavité thoracique nécessaire au bon développement du muscle *Pectoralis minor* à mesure que le muscle *Pectoralis major* gagne en volume. En outre, les poulets sont abattus à des âges toujours plus précoces du fait de la sélection en faveur d'un taux de croissance rapide, ce qui s'accompagne d'une immaturité du tissu conjonctif, riche en collagène, qui imprègne et entoure le tissu musculaire : le muscle *Pectoralis minor* est ainsi plus susceptible de se déchirer au cours de la transformation.

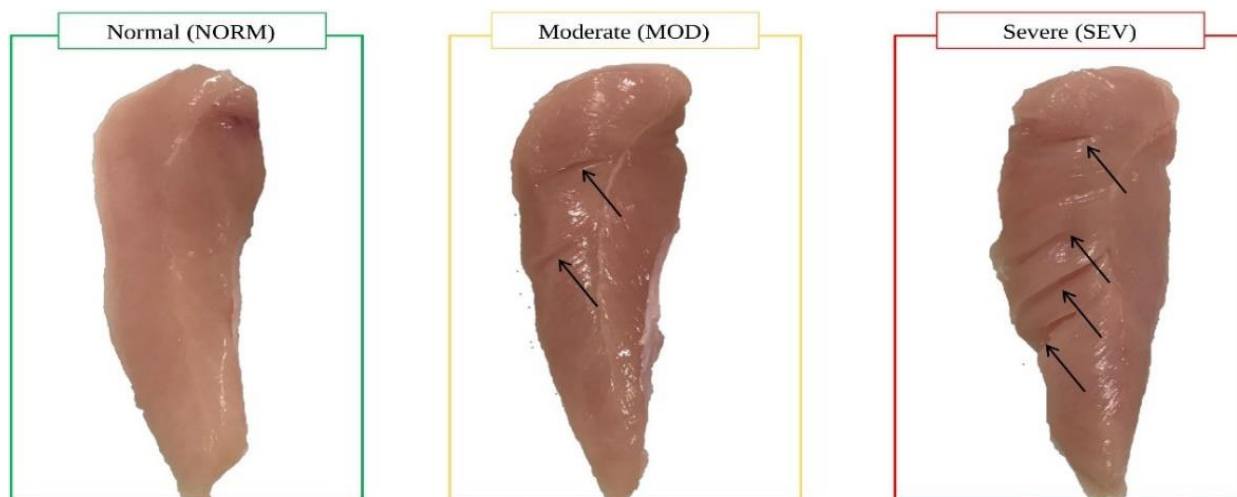


Figure 9. Critères d'évaluation du niveau de « gaping » du muscle *Pectoralis minor* de poulets de chair (d'après Soglia et al., 2019).

- *Occurrence*

Dans leur étude, Soglia et al. ont échantillonné aléatoirement 200 muscles *Pectoralis minor* provenant de 43 lots d'élevage. Le défaut de « gaping » a été détecté au sein de 16,8 % des muscles échantillonnés, mais l'incidence du défaut entre les lots était relativement variable, s'échelonnant de 7,5 à 29,5 %. L'altération de l'apparence des muscles affectés entraîne souvent leur déclassement et une valorisation à moindre coût sous forme de produits transformés découpés ou hachés plutôt que sous leur forme entière : s'ensuit donc une perte économique⁶⁶.

- *Répercussions organoleptiques et nutritionnelles*

En termes de qualité de viande, l'accroissement de la sévérité du défaut de « gaping » s'accompagne d'une réduction du pH de la viande : les muscles gravement atteints affichent un pH nettement inférieur à celui des muscles normaux. Le pH des aiguillettes modérément atteintes était intermédiaire et situé entre celui des muscles intacts et sévèrement atteints⁶⁶. En outre, les muscles étaient plus lumineux (L*), leur coloration plus jaune (b*) et leur capacité de rétention d'eau était inférieure à celle des muscles intacts. Cependant, aucune différence significative n'a été trouvée entre les muscles normaux et les muscles atteints concernant la composition nutritionnelle (protéines, collagène, graisse, cendres). L'absence de variations significatives de ce dernier facteur et le pH plus faible suggèrent que le(s) mécanisme(s) sous-jacent(s) responsable(s) du développement du défaut de « gaping » au sein du muscle *Pectoralis minor* diffère(nt) de ceux responsables de l'apparition du défaut de « filet spaghetti » au sein du muscle *Pectoralis major* (caractérisé par un pH plus élevé et des taux de protéines et de cendres plus faibles).

III. Répercussions des myopathies des muscles pectoraux sur le bien-être animal

Les travaux de recherche indiquent que les myopathies des muscles pectoraux précédemment décrites représentent non seulement une détérioration de la qualité de viande, mais aussi une dégradation de la santé des animaux et une altération des mouvements normaux des poulets. Cependant, seules quelques études ont examiné l'impact des myopathies sur le bien-être animal, la plupart d'entre elles traitant uniquement du défaut « wooden breast ».

Le « wooden breast » se manifeste sous la forme d'une inflammation des fibres musculaires (myosite) et les cellules immunitaires peuvent être détectées dans le muscle au cours des deux premières semaines d'âge. Le durcissement des tissus pectoraux commence à partir de quatre semaines, ce qui signifie que les animaux

touchés souffrent d'une inflammation chronique sous-jacente durant plusieurs semaines avant que le défaut ne puisse être détecté par palpation³⁸.

Il a également été démontré que l'apparition de ce défaut s'accompagne d'une augmentation de l'incidence de la mortalité et des maladies pulmonaires chez les poulets au fil du temps. Une étude américaine réalisée en 2019 par Gall et al. a examiné la mortalité à l'âge de 40 à 56 jours d'un lot de 4 000 poulets de souche Ross 708. 68 % des poulets morts au cours de cette période présentaient simultanément un défaut « *wooden breast* » sévère et une affection pulmonaire (caractérisée par une congestion pulmonaire, un œdème et/ou une pneumonie), y compris chez 21 des 22 individus morts, ramassés en décubitus dorsal⁶⁷.

En outre, le défaut « *wooden breast* » a également été associé à une altération du mouvement des ailes et à une réduction de la motricité⁶⁸. Comme chez d'autres espèces d'oiseaux, la région du bréchet des poulets comporte deux muscles, conjointement responsables de produire des coups d'ailes (vers le haut et vers le bas), nécessaires au battement. Le muscle *Pectoralis minor* est nécessaire pour soulever l'aile pendant le vol, tandis que le muscle *Pectoralis major*, beaucoup plus volumineux et puissant, est nécessaire pour tirer le muscle vers le bas.

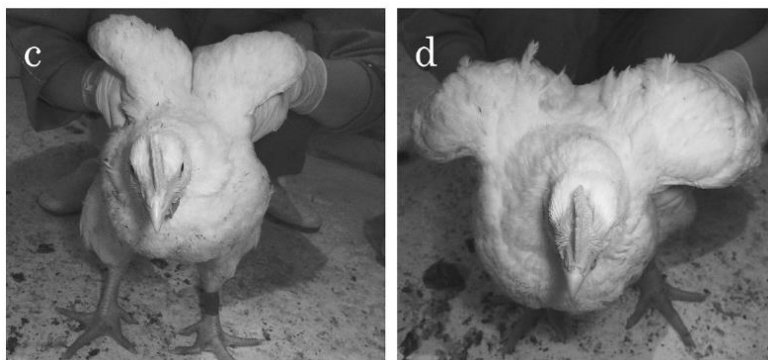


Figure 10. Test de contact de la face externe des ailes sur deux poulets : un individu témoin non atteint (c) et un individu atteint de défaut « *wooden breast* » (d). Les muscles pectoraux fermes/durcis étaient détectés par palpation à 43 jours. L'animal témoin peut facilement soulever ses ailes pour les mettre en contact tandis que l'animal atteint n'est pas en mesure de soulever suffisamment ses ailes pour obtenir le même résultat (d'après Kawasaki et al., 2016).

Dans une étude pilote à petite échelle, Kawasaki et al. ont d'abord conclu que le test de mise en contact de la face externe des ailes pouvait être utilisé comme outil de diagnostic de « *wooden breast* » chez les poulets de chair (Figure 9). L'amplitude de mouvement des ailes des poulets de chair atteints est limitée⁶⁸. Cette conclusion est corroborée par Larsen et al. suite à leur propre constat d'une réduction de la mobilité des ailes à 30 jours chez les poulets de chair atteints⁶⁹.

Une étude de 2019 a examiné l'occurrence de la position de « décubitus dorsal », dans laquelle les poulets de chair sont susceptibles de tomber sans raison apparente et se trouvent dans l'incapacité de se redresser sans aide⁶⁷ (Figure 11). 95 % des oiseaux



trouvés morts en décubitus dorsal dans le cadre de cette étude souffraient à la fois de « *wooden breast* » et d'une affection pulmonaire d'une part, et étaient plus lourds que le poids cible, d'autre part. Les auteurs ont émis l'hypothèse que les poulets de chair atteints sont incapables de se redresser parce que le défaut « *wooden breast* » provoque une hypercontraction constante du muscle *Pectoralis major*, qui empêche les individus atteints de contracter le muscle *Pectoralis minor* afin de soulever leurs ailes. Des conclusions similaires, associant décubitus dorsal et défaut « *wooden breast* » ont été tirées dans une étude réalisée en 2022⁷⁰.

Il a également été démontré à plusieurs reprises que la motricité des poulets de chair atteints de « *wooden breast* » était significativement réduite en cours d'élevage⁴³. En plus de leur poids et du rendement filet accru, les individus atteints de « *wooden breast* » faisaient moins de mouvements lorsqu'ils étaient couchés. Les auteurs suggèrent que ces différences de comportement peuvent refléter une sensibilité accrue des tissus des muscles pectoraux chez les poulets atteints, aboutissant à l'atténuation de tout mouvement (par exemple pour ajuster leur position ou ramper) en position couchée, ce afin d'éviter tout inconfort ou toute douleur potentielle.

Bien qu'aucune étude à ce jour n'ait définitivement démontré que les myopathies des muscles pectoraux sont douloureuses, il est avéré que les lésions dégénératives musculaires graves rencontrées chez l'homme, similaires à celles du défaut « *wooden breast* », causent une douleur importante : ce constat suggère que les oiseaux peuvent ressentir une douleur ou une gêne au niveau du bréchet⁷¹. En outre, l'association qui existe entre ces myopathies et l'inflammation chronique des tissus, la diminution de la capacité physique et l'augmentation de la mortalité des animaux démontre que la présence de ces myopathies représente une grave atteinte à la santé et au bien-être des poulets de chair.

RÉSUMÉ : IMPACT DES MYOPATHIES DU MUSCLE PECTORAL SUR LE BIEN-ÊTRE ANIMAL

La présence du défaut « *wooden breast* » est associée à :

- une inflammation chronique des muscles ;
- une augmentation de l'incidence de la mortalité ;
- une augmentation de l'incidence d'affections pulmonaires ;
- une augmentation de l'incidence du « syndrome de décubitus dorsal » ;
- une hypercontraction musculaire entraînant une altération du mouvement des ailes ;
- une dégradation de la motricité.

Références bibliographiques

1. Augère-Granier, M. L. (2019). The EU poultry meat and egg sector: Main features, challenges and prospects.
2. Ingr, I. Meat quality. Defining the term from the modern angle. *Fleischwirtsch. Ger. FR* (1989).
3. Marchewka, J., Sztandarski, P., Solka, M., Louton, H., Rath, K., Vogt, L., ... & Horbańczuk, J. O. (2022). Linking key husbandry factors to the intrinsic quality of broiler meat. *Poultry Science*, 102384.
4. Tougan, P. U., Dahouda, M., Salifou, C. F. A., Ahounou, S. G. A., Kpodekon, M. T., Mensah, G. A., ... & Karim, I. Y. (2013). Conversion of chicken muscle to meat and factors affecting chicken meat quality: a review. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 3(8), 1-20.
5. Baéza, E., Guillier, L., & Petracci, M. (2022). Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. *Animal*, 16, 100331.
6. Sirri, F., Castellini, C., Bianchi, M., Petracci, M., Meluzzi, A., & Franchini, A. (2011). Effect of fast-, medium-and slow-growing strains on meat quality of chickens reared under the organic farming method. *Animal*, 5(2), 312-319.
7. Chodová, D., Tůmová, E., Ketta, M., & Skřivanová, V. (2021). Breast meat quality in males and females of fast-, medium-and slow-growing chickens fed diets of 2 protein levels. *Poultry Science*, 100(4), 100997.
8. Devatkal, S. K., Naveena, B. M., & Kotaiah, T. (2019). Quality, composition, and consumer evaluation of meat from slow-growing broilers relative to commercial broilers. *Poultry science*, 98(11), 6177-6186.
9. Stadig, L. M., Rodenburg, T. B., Reubens, B., Aerts, J., Duquenne, B., & Tuytens, F. A. (2016). Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poultry Science*, 95(12), 2971-2978.
10. Mikulski, D., Celej, J., Jankowski, J., Majewska, T., & Mikulska, M. (2011). Growth performance, carcass traits and meat quality of slower-growing and fast-growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(10), 1407-1416.
11. Cömert, M., Şayan, Y., Kırkpınar, F., Bayraktar, Ö. H., & Mert, S. (2016). Comparison of carcass characteristics, meat quality, and blood parameters of slow and fast grown female broiler chickens raised in organic or conventional production system. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(7), 987.
12. Sales, J. (2014). Effects of access to pasture on performance, carcass composition, and meat quality in broilers: A meta-analysis. *Poultry Science*, 93(6), 1523-1533.

- 13.** Fidan, E. D., Kaya, M., Nazligul, A., & Türkyilmaz, M. K. (2020). The effects of perch cooling on behavior, welfare criteria, performance, and litter quality of broilers reared at high temperatures with different litter thicknesses. *Brazilian journal of poultry science*, 22.
- 14.** Wu, Y., Wang, Y., Wu, W., Yin, D., Sun, X., Guo, X., ... & Yuan, J. (2020). Effects of nicotinamide and sodium butyrate on meat quality and muscle ubiquitination degradation genes in broilers reared at a high stocking density. *Poultry science*, 99(3), 1462-1470.
- 15.** Goo, D., Kim, J. H., Park, G. H., Delos Reyes, J. B., & Kil, D. Y. (2019). Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens. *Animals*, 9(3), 107.
- 16.** Skřivanová, V., Tůmová, E., Englmaierová, M., Chodová, D., & Skřivan, M. (2017). Do rearing system and free-range stocking density affect meat quality of chickens fed feed mixture with rapeseed oil?. *Czech Journal of Animal Science*, 62(4), 141-149.
- 17.** Petracci, M., Mudalal, S., Soglia, F., & Cavani, C. (2015). Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 71(2), 363-374.
- 18.** De Carvalho, L. M., Ventanas, S., Olegario, L. S., Madruga, M. S., & Estévez, M. (2020). Consumers awareness of white-stripping as a chicken breast myopathy affects their purchasing decision and emotional responses. *LWT*, 131, 109809.
- 19.** Kuttappan, V. A., Hargis, B. M., & Owens, C. M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, 95(11), 2724-2733.
- 20.** Rayner, A. C., Newberry, R. C., Vas, J. & Mullan, S. Slow-growing broilers are healthier and express more behavioural indicators of positive welfare. *Sci. Rep.* 10, 15151 (2020).
- 21.** Baxter, M., Richmond, A., Lavery, U., & O'Connell, N. E. (2021). A comparison of fast growing broiler chickens with a slower-growing breed type reared on Higher Welfare commercial farms. *PloS one*, 16(11), e0259333.
- 22.** Forseth, M., Moe, R. O., Kittelsen, K., Skjerve, E., & Toftaker, I. (2023). Comparison of carcass condemnation causes in two broiler hybrids differing in growth rates. *Scientific Reports*, 13(1), 4195.
- 23.** Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E., & Estévez, M. (2019). Wooden-breast, white striping, and spaghetti meat: causes, consequences and consumer perception of emerging broiler meat abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 565-583.
- 24.** Barbut, S. (2020). Understanding the woody breast syndrome and other myopathies in modern broiler chickens. In *Australian Poultry Science Symposium*. Sydney, Australia (pp. 99-102).
- 25.** Aviagen (2019) *Breast Muscle Myopathies (BMM)*. In-house publication, global. Aviagen Ltd., Newbridge UK.

- 26.** Kuttappan, V. A., Owens, C. M., Coon, C., Hargis, B. M., & Vazquez-Anon, M. (2017). Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. *Poultry Science*, 96(8), 3005-3009.
- 27.** Bailey, R. A., Watson, K. A., Bilgili, S. F., & Avendano, S. (2015). The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poultry Science*, 94(12), 2870-2879.
- 28.** Alnahhas, N., Berri, C., Chabault, M., Chartrin, P., Boulay, M., Bourin, M. C., & Bihan-Duval, L. (2016). Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in two broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. *BMC genetics*, 17(1), 1-9.
- 29.** Lorenzi, M., Mudalal, S., Cavani, C., & Petracci, M. (2014). Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(4), 754-758.
- 30.** Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E., ... & Xiccato, G. (2015). Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry science*, 94(12), 2996-3004.
- 31.** Dixon, L. M. Slow and steady wins the race: The behaviour and welfare of commercial faster growing broiler breeds compared to a commercial slower growing breed. *PLOS ONE* 15, e0231006 (2020).
- 32.** Kuttappan, V. A., Lee, Y. S., Erf, G. F., Meullenet, J. F., McKee, S. R., & Owens, C. M. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5), 1240-1247.
- 33.** Kong, F., Bai, L., He, Z., Sun, J., Tan, X., Zhao, D., ... & Liu, R. (2023). Integrated metabolomics and lipidomics evaluate the alterations of flavor precursors in chicken breast muscle with white striping symptom. *Frontiers in Physiology*, 13, 1079667.
- 34.** Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M. & Sirri, F. Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal* 12, (2017)
- 35.** Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., & Cavani, C. (2014). Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. *Italian Journal of Animal Science*, 13(1), 3138.
- 36.** Soglia, F., Laghi, L., Canonico, L., Cavani, C., & Petracci, M. (2016). Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Food Research International*, 89, 1071-1076.
- 37.** Lake, J. A., Papah, M. B., & Abasht, B. (2019). Increased expression of lipid metabolism genes in early stages of wooden breast links myopathy of broilers to metabolic syndrome in humans. *Genes*, 10(10), 746

- 38.** Papah, M. B., Brannick, E. M., Schmidt, C. J. & Abasht, B. Evidence and role of phlebitis and lipid infiltration in the onset and pathogenesis of Wooden Breast. (2017).
- 39.** Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Puolanne, E., Remignon, H., Cecchinato, M., Catelli, E., & Cullere, M. (2017). Effect of " wooden breast" appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. *Czech Journal of Animal Science*, 62(2), 51-57.
- 40.** Malila, Y., Juthawut, U., Srimarut, Y., Chaiwiwattrakul, P., Uengwetwanit, T., Arayamethakorn, S., ... & Visessanguan, W. (2018). Monitoring of white striping and wooden breast cases and impacts on quality of breast meat collected from commercial broilers (*Gallus gallus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(11), 1807.
- 41.** Radaelli, G., Piccirillo, A., Birolo, M., Bertotto, D., Gratta, F., Ballarin, C., ... & Trocino, A. (2017). Effect of age on the occurrence of muscle fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction. *Poultry Science*, 96(2), 309-319.
- 42.** Meloche, K. J., Fancher, B. I., Emmerson, D. A., Bilgili, S. F., & Dozier III, W. A. (2018). Effects of reduced dietary energy and amino acid density on Pectoralis major myopathies in broiler chickens at 36 and 49 days of age. *Poultry science*, 97(5), 1794-1807.
- 43.** Noring, M., Valros, A., Valaja, J., Sihvo, H. K., Immonen, K., & Puolanne, E. (2019). Wooden breast myopathy links with poorer gait in broiler chickens. *Animal*, 13(8), 1690-1695.
- 44.** Xing, T., Zhao, X., Zhang, L., Li, J. L., Zhou, G. H., Xu, X. L., & Gao, F. (2020). Characteristics and incidence of broiler chicken wooden breast meat under commercial conditions in China. *Poultry Science*, 99(1), 620-628.
- 45.** Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M. (2021). Spaghetti meat abnormality in broilers: current understanding and future research directions. *Frontiers in Physiology*, 12, 684497.
- 46.** Baldi, G., Soglia, F., Laghi, L., Tappi, S., Rocculi, P., Tavaniello, S., ... & Petracci, M. (2019). Comparison of quality traits among breast meat affected by current muscle abnormalities. *Food Research International*, 115, 369-376
- 47.** Baldi, G., Soglia, F., & Petracci, M. (2020). Current status of poultry meat abnormalities. *Meat and Muscle Biology*, 4(2).
- 48.** Montagna, F. S., Garcia, G., Nääs, I. D. A., Lima, N. D. D. S., & Caldara, F. R. (2019). Practical assessment of spaghetti breast in diverse genetic strain broilers reared under different environments. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21.
- 49.** Che, S., Wang, C., Iverson, M., Varga, C., Barbut, S., Bienzle, D., & Susta, L. (2022). Characteristics of broiler chicken breast myopathies (spaghetti meat, woody breast, white striping) in Ontario, Canada. *Poultry science*, 101(4), 101747.

- 50.** Soglia, F., Petracci, M., Davoli, R., & Zappaterra, M. (2021). A critical review of the mechanisms involved in the occurrence of growth-related abnormalities affecting broiler chicken breast muscles. *Poultry Science*, 100(6), 101180.
- 51.** Aguirre, M. E., Leyva-Jimenez, H., Travis, R., Lee, J. T., Athrey, G., & Alvarado, C. Z. (2020). Evaluation of growth production factors as predictors of the incidence and severity of white striping and woody breast in broiler chickens. *Poultry science*, 99(7), 3723-3732.
- 52.** Santos, M. N., Rothschild, D., Widowski, T. M., Barbut, S., Kiarie, E. G., Mandell, I., ... & Torrey, S. (2021). In pursuit of a better broiler: carcass traits and muscle myopathies in conventional and slower-growing strains of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(9), 101309.
- 53.** Bowker, B., Zhuang, H., Yoon, S. C., Tasoniero, G., & Lawrence, K. (2019). Relationships between attributes of woody breast and white striping myopathies in commercially processed broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(2), 490-496.
- 54.** Dalle Zotte, A., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., & Marchesini, G. (2020). Research Note: Effect of chicken genotype and white striping-wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*, 99(3), 1797-1803.
- 55.** Lien, R. J., Bilgili, S. F., Hess, J. B., & Joiner, K. S. (2012). Induction of deep pectoral myopathy in broiler chickens via encouraged wing flapping. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 556-562.
- 56.** Stangierski, J., Tomaszewska-Gras, J., Baranowska, H. M., Krzywdzińska-Bartkowiak, M. & Konieczny, P. The effect of deep pectoral myopathy on the properties of broiler chicken muscles characterised by selected instrumental techniques. *Eur. Food Res. Technol.* 245, 459-467 (2019).
- 57.** Lien, R.J., Bilgili, S.F., Hess, J.B., Joiner, K.S. (2011) Finding answers to 'green muscle disease'. *Watt AgNet*. <https://www.wattagnet.com/articles/8761-finding-answers-to-green-muscle-disease>
- 58.** Yalcin, S., Şahin, K., Tuzcu, M., Bilgen, G., Özkan, S., Izzetoğlu, G. T., & Işık, R. (2019). Muscle structure and gene expression in pectoralis major muscle in response to deep pectoral myopathy induction in fast-and slow-growing commercial broilers. *British poultry science*, 60(3), 195-201.
- 59.** Huang, X. & Ahn, D. U. REVIEW The Incidence of Muscle Abnormalities in Broiler Breast Meat - A Review. 38, (2018).
- 60.** Giampietro-Ganeco, A., Owens, C. M. & Borba, H. Impact of deep pectoral myopathy on chemical composition and quality parameters of chicken breast fillet. *Poult. Sci.* 100, 101377 (2021).
- 61.** Droval, A. A., Benassi, V. T., Rossa, A., Prudencio, S. H., Paião, F. G., & Shimokomaki, M. (2012). Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft,

and exudative broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 502-507.

62. Wang, X., Li, J., Cong, J., Chen, X., Zhu, X., Zhang, L., ... & Zhou, G. (2017). Preslaughter transport effect on broiler meat quality and post-mortem glycolysis metabolism of muscles with different fiber types. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(47), 10310-10316.

63. BARBUT, S. (1998). Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *Journal of Muscle Foods*, 9(1), 35-49.

64. Van Laack, R. L. J. M., Liu, C. H., Smith, M. O., & Loveday, H. D. (2000). Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science*, 79(7), 1057-1061.

65. Carvalho, R. H., Soares, A. L., Grespan, M., Spurio, R. S., Coró, F. A. G., Oba, A., & Shimokomaki, M. (2015). The effects of the dark house system on growth, performance and meat quality of broiler chicken. *Animal Science Journal*, 86(2), 189-193.

66. Soglia, F., Mazzoni, M., & Petracci, M. (2019). Spotlight on avian pathology: current growth-related breast meat abnormalities in broilers. *Avian Pathology*, 48(1), 1-3.

67. Gall, S., Suyemoto, M. M., Sather, H. M., Sharpton, A. R., Barnes, H. J., & Borst, L. B. (2019). Wooden breast in commercial broilers associated with mortality, dorsal recumbency, and pulmonary disease. *Avian Diseases*, 63(3), 514-519.

68. Kawasaki, T., Yoshida, T., & Watanabe, T. (2016). Simple method for screening the affected birds with remarkably hardened pectoralis major muscles among broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*, 53(4), 291-297.

69. Larsen, H. D., Blaabjerg, L. O., Brandt, P., Young, J. F., Rasmussen, M. K., Pedersen, J. R., & Brandborg, D. N. (2016, September). The occurrence of wooden breast in a danish flock of broiler chickens. In *Proceedings of the XXV World's Poultry Congress (WPC2016)*, Beijing, China (pp. 5-9).




70. Che, S., Weber, L., Novy, A., Barbut, S., & Susta, L. (2023). Characterization of dorsal recumbency syndrome associated with woody breast in broiler flocks from Ontario, Canada. *Poultry Science*, 102(2), 102307.

71. Baltic, M., Rajcic, A., Lau danovic, M., Nesic, S., Baltic, T., Ciric, J., & Lazic, I. B. (2019, September). Wooden breast-a novel myopathy recognized in broiler chickens. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 333, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.




ANNEXE 1 : Facteurs altérant la valeur nutritionnelle de la viande de poulet (d'après FAO, 2023)

Graisse et acides gras	Souche et génétique	◦La viande des souches hybrides à croissance plus lente affiche en général une teneur en graisse plus élevée que les souches croisées à croissance rapide, et une teneur totale en acides gras polyinsaturés plus élevée.	Baéza, Guillier and Petracci, 2021; Mahiza, Lokman and Ibitoye, 2021
		◦La sélection en faveur d'un gain de poids et d'une plus grande productivité augmente la teneur en graisse et diminue la teneur en oméga-3 (DHA) de la viande de poule.	Wang et al. (2010)
		◦La teneur en lipides de la viande des poulets autochtones de souche pure est environ égale au tiers de celle des poulets hybrides. Des niveaux plus élevés d'oxydation des lipides et des protéines (réduisant la biodisponibilité des protéines) ont été constatés chez ces poulets de souche pure.	Dalle Zotte et al., 2020
	Régime alimentaire	◦L'augmentation de la teneur en lipides de l'aliment d'élevage et la diminution du rapport énergie/protéines entraînent une augmentation de la teneur en lipides intramusculaires. ◦ Un aliment riche en acides gras saturés (huile de palme, huile de coprah, etc.) augmente leur proportion. ◦ L'huile riche en acides gras polyinsaturés (AGPI) issue d'animaux marins augmente les proportions d'AGPI oméga-3 à longue chaîne.	Baéza, Guillier and Petracci, 2021
Conditions d'élevage	◦L'élevage en claustration avec un accès continu à un aliment d'élevage à haute valeur énergétique et l'utilisation de facteurs de croissance entraînent une augmentation de la teneur en graisses. ◦ Une densité d'élevage plus faible diminue la teneur en graisse intramusculaire.	Marchewka et al. 20239	
Protéines et acides aminés	Souche et génétique	◦Une souche à haut rendement filet peut afficher une teneur en protéines significativement moindre (3 à 14 % de moins) qu'une souche hybride à rendement filet standard. ◦ Teneur en protéines plus élevée chez les poulets autochtones.	Dalle Zotte et al., 2020; Petracci et al., 2013
		◦ La diminution de l'âge d'abattage en raison de la sélection génétique optimisant le taux de croissance entraîne une augmentation du rapport de teneur en eau/protéines.	Baéza et al., 20214
		◦ Les défauts de qualité tels que le « <i>white striping</i> » ou le « <i>wooden breast</i> » sont associés à une diminution de 7 à 18 % de la teneur en protéines musculaires et à une augmentation allant jusqu'à 11 % de la teneur en collagène en lien avec la sélection génétique pour le taux de croissance	Baéza, Guillier and Petracci, 2021
Teneur en eau et capacité de rétention d'eau	Souche et génétique	◦La diminution de l'âge d'abattage en raison de la sélection génétique optimisant le taux de croissance entraîne une augmentation du rapport de teneur en eau/protéines.	Baéza et al., 2021
	Conditions d'élevage	◦Une densité d'élevage plus faible réduit les pertes à la cuisson et par exsudation. ◦L'accès à l'extérieur augmente la capacité de rétention d'eau et réduit les pertes à la cuisson.	Marchewka et al. 2023
Vitamines	Conditions d'élevage	◦L'élevage en plein air augmente la teneur en vitamine E.	Baéza, Guillier and Petracci,

ANNEXE 2 : Synthèse des myopathies touchant le muscle *Pectoralis major* les plus couramment rencontrées chez les poulets de chair

Défaut	Apparence	Description	Histopathologie	Facteurs de risque	Modifications organoleptiques	Modifications nutritionnelles
White striping		<ul style="list-style-type: none"> ◦Apparition de striations blanches constituées de graisse et de tissu conjonctif, parallèles aux fibres musculaires, du côté de la peau 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Nécrose et lyse des fibres musculaires ◦Lipidose ◦Dégénérescence vacuolaire 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Poids corporel accru ◦Rendements de filet 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Peu esthétiques sur le plan visuel ◦Diminution des précurseurs d'arôme Umami 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Teneur en graisse plus élevée ◦Moindre teneur en protéines ◦pH plus élevé ◦Teneur en collagène plus élevée ◦Carence en certains acides aminés
Wooden breast		<ul style="list-style-type: none"> ◦Filet à la texture dure, bombée et pâle ◦Hémorragie pétéchiiale et exsudat gélatineux sur la peau parfois présents 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Infiltration localisée de cellules immunitaires ◦Vasculite ◦Inflammation et dégénérescence des fibres musculaires ◦Remplacement par du tissu adipeux et conjonctif 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Poids corporel accru ◦Rendements de filet 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Réduction de la capacité de rétention d'eau ◦Réduction de la capacité d'absorption de marinade ◦Augmentation des pertes par exsudation et à la cuisson 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Diminution de la teneur en protéines ◦ Carence en certains acides aminés ◦ Profil minéral anormal
Filet spaghetti		<ul style="list-style-type: none"> ◦Fibres musculaires relâchées et désagrégées ◦Les fibres musculaires ressemblent à des spaghettis 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Disparition du tissu conjonctif de structure ◦Dégénérescence et régénération des tissus ◦Certaines fibres musculaires semblent hypercontractées 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Souches à croissance rapide ◦Alimentation 100 % végétale 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Tranchage difficile et texture plus molle après la cuisson ◦Intégrité anormale entraînant un déclassement ◦Coloration jaune de la viande plus élevée ◦Teneur en eau élevée ◦ Augmentation des pertes par exsudation et à la cuisson 	<ul style="list-style-type: none"> ◦Diminution de la teneur en protéines

ANNEXE 3 : Synthèse des myopathies touchant le muscle *Pectoralis minor* les plus couramment rencontrées chez les poulets de chair

Défaut	Apparence	Description	Histopathologie	Facteurs de risque	Modifications organoleptiques	Modifications nutritionnelles
Maladie du muscle vert		◦ Affection dégénérative du muscle de la poitrine, entraînant des hémorragies et une teinte verdâtre	◦ Caractérisée par la nécrose et l'atrophie du muscle	◦ Rendements de filet élevés	◦ Viande plus dure et plus fibreuse ◦ Teneur en eau plus élevée ◦ Capacité de rétention d'eau plus élevée	◦ Diminution des taux de protéines et de cendres ◦ Augmentation des lipides ◦ Altération du profil en acides gras
Viande (PSE)		◦ Viande pâle résultant de la dénaturation des protéines, en raison de la chute brutale du pH alors que la carcasse est encore chaude	◦ Dénaturation des protéines myofibrillaires et sarcoplasmiques	◦ Stress thermique ◦ Stress au cours du transport et de l'abattage	◦ Couleur pâle ◦ Moins tendre et moins juteuse que la viande normale ◦ pH plus bas ◦ Coloration L* plus élevée ◦ Augmentation des pertes par exsudation ◦ Moindre capacité d'absorption de marinade ◦ Diminution du rendement à la cuisson	◦ Diminution de la teneur en protéines
« Gaping »		◦ Les faisceaux de fibres musculaires semblent visuellement séparés les uns des autres (lamelles) à un ou plusieurs emplacements au niveau de la surface ventrale externe du muscle.	◦ Le tissu conjonctif riche en qui imprègne et entoure le tissu musculaire est immature tissu conjonctif, riche en collagène, : le muscle <i>Pectoralis minor</i> est plus susceptible de se déchirer lors de la transformation.	◦ Rendements de filet élevés ◦ Abattage à un âge précoce	◦ pH plus bas ◦ Muscle plus lumineux ◦ Coloration jaune de la viande plus élevée ◦ Moindre capacité de rétention d'eau	◦ Aucune différence de composition nutritionnelle (protéines, collagène, graisse, cendres).