

Les viandes déstructurées

Enjeux

Autrefois vendu à la coupe, le jambon cuit s'est installé dans les années 1990 au rayon libre service sous forme de tranches fines et parfaitement homogènes.

Pour répondre au consommateur, le taux de gras a été considérablement réduit alors que les professionnels s'imposaient d'éliminer les additifs technologiques (phosphates dans le jambon cuit supérieur) et de réduire la teneur en sel.

Sur ces jambons ultra normalisés, le défaut de déstructuration de la viande fraîche occasionne une perte de rendement de cuisson et de tranchage ainsi qu'une texture «pommade» au cœur des tranches.

Défaut étudié depuis plus de 15 ans, des améliorations importantes ont été apportées tout au long de la filière française :

- génétique des animaux par élimination de certains gènes défavorables,
- ajeunement et conditions de préabattage,
- tri des jambons par mesure du pH,
- optimisation des procédés de salage, de cuisson et de tranchage.

Malgré ces progrès, on estime encore à 10 % à 15 % les jambons déstructurés présentant ce défaut.

Réduire sa proportion nécessite de mieux comprendre son origine biochimique et ses conditions d'apparition.

Ce cahier rassemble les données actuellement connues sur le défaut de déstructuration.

Exemples de jambons déstructuré et non-déstructuré

Viande non-déstructurée (B/1)

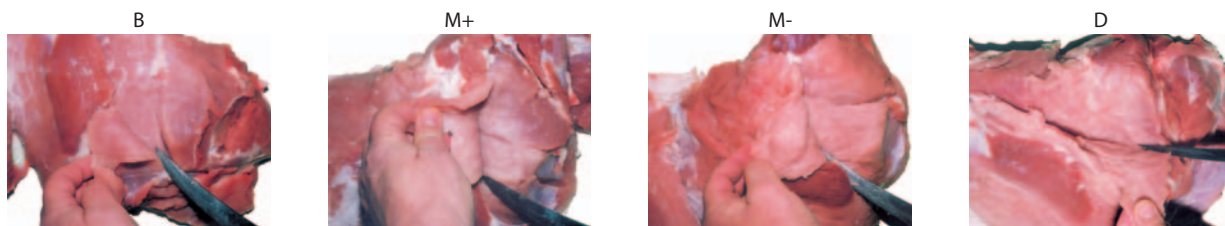


Viande déstructurée (D/4)



Le muscle Semimembranosus est identifié par une flèche.

Grille de notation IFIP (2005)



Grille « Barbry »	Note IFIP	Couleur	Structure du muscle	Surface atteinte	Profondeur lésion	Observations
B	1	• De pâle à foncée	• Fibreuse ferme	• Nulle	• Sans objet	• Sans objet
M +	2	• Pâle au niveau de la lésion	• Déstructurée • Absence de structure fibrillaire en superficie	• Faible (le plus souvent 5 à 10 cm ²)	• En surface	• Grosse noix touchée
M-	3	• Très pâle (note 1-2)* • Exsudat visqueux	• Déstructurée • Absence de structure fibrillaire • Structure pâteuse molle	• ≥ 50 % surface interne noix	• < 2 cm	• En général grosse noix et semelle touchées. • Noix pâtissière indemne
D	4				• > 2 cm	• Souvent les 3 noix touchées

Caractérisation macroscopique

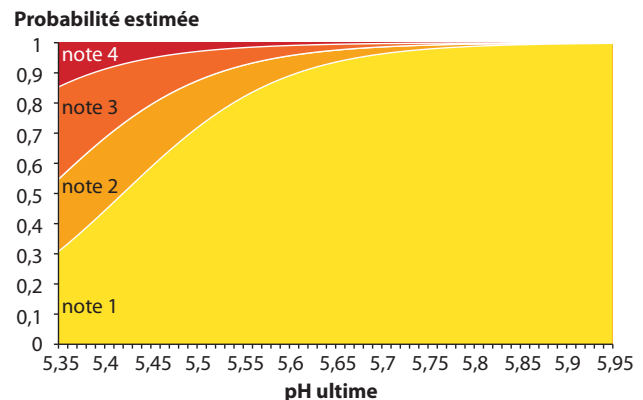
La viande déstructurée montre, au toucher, une consistance molle avec une perte de l'aspect naturel des fibres musculaires. La couleur est systématiquement plus **claire** (L* supérieur), la plupart du temps grisée mais virant parfois à l'orange rouge ou au blanc rosé, les composantes a* et surtout b* sont plus élevées.

Le défaut touche les membres inférieurs du porc au niveau de la **cuisse** et apparaît prioritairement **auprès du fémur** au cœur du membre inférieur du porc, il est donc **indécelable** en amont du process du jambon cuit par exemple, car on doit attendre **l'ouverture des masses musculaires (désossage) pour constater la lésion**. Les muscles touchés sont l'*Adductor*, le *Semimembranosus* de la grosse noix et le *Biceps femoris* (semelle).

Les lésions s'étendent principalement autour des **artères et veines** fémorales profondes de la cuisse.

La grille de notation IFIP (2005) permet la notation visuelle des viandes après désossage et est utilisée par l'IFIP depuis 2001 pour toutes les études traitant du sujet : elle se décline en **quatre notes** allant des viandes indemnes (note 1 ou B), à des viandes très sévèrement touchées (note 4 ou D), voir tableau ci-dessous.

Courbes de prédiction du risque de déstructuration du jambon en fonction du pH ultime



Relation avec les principaux critères de qualité de viande

Le défaut de viande déstructurée (notes 3 et 4) touche un pourcentage de jambon variant de 4,2 % à 17 % en fonction des conditions expérimentales.

L'étude IFIP de 2001 présente une fréquence de 17 % ce qui reste probablement la valeur plus proche de la réalité, tout en

Résultats de qualité de viande selon les notes de déstructuration

	Note de déstructuration			
	B	M+	M-	D
n =	2456	137	80	24
pH1	6,40 _a	6,21 _b	6,14 _{bc}	6,06 _c
pHu	5,76 _a	5,55 _b	5,53 _b	5,50 _b
L*	46,3 _a	50,0 _b	52,6 _c	54,5 _c
a*	6,8 _a	7,9 _b	8,8 _b	7,8 _{ab}
b*	4,0 _a	5,3 _b	7,0 _c	6,3 _{bc}
Poids de carcasse (kg)	88,9 _a	91,0 _b	92,0 _b	88,6 _{ab}
Épaisseur de gras G1 (mm)	16,9 _a	15,7 _b	16,5 _{ab}	15,8 _{ab}
Épaisseur de gras G2 (mm)	15,3 _a	14,2 _b	14,6 _{ab}	13,8 _{ab}
Épaisseur de muscle M2 (mm)	56,6 _a	58,3 _b	59,9 _b	59,0 _a

Les moyennes ajustées affectées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %. SM : Semimembranosus ; BF : Biceps femoris. La mesure de couleur (L*, a*, b*) est réalisée selon les recommandations de l'AMSA (1991), sans blooming, immédiatement après ouverture du jambon et épiluchage du muscle Semimembranosus, au niveau de sa face interne (cf. flèche figure) (Vautier et al., 2008)

pH ultime du muscle Semimembranosus selon les notes de déstructuration

	Note de déstructuration				p.=
	B	M+	M-	D	
Franck et al. (2000)	5,69 _a	5,64 _b	5,59 _b	5,59 _b	*
Minvielle et al. (2001)	5,71 _a	5,55 _b	5,54 _{bc}	5,51 _c	***
Bouffaud et al. (2002)	5,71 _a	5,59 _b	5,55 _c		***
Minvielle et al. (2003)	5,82 _a	5,57 _b	5,55 _b		***
Vautier et al. (2005)	5,71 _a	5,55 _b	5,52 _b		***
Voutila et al. (2008)	5,64			5,43	-

***: p<0,001, **: p<0,01, *: p<0,05

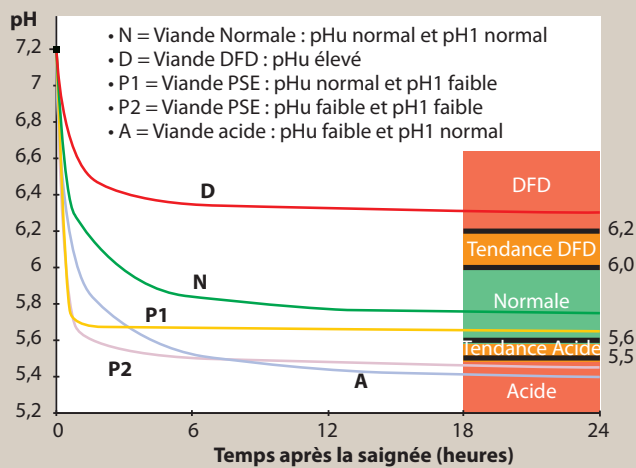
étant certainement à minorer légèrement du fait des progrès réalisés par l'ensemble des abatteurs français concernant la gestion des conditions de pré-abattage et d'abattage. Certains critères de qualité de viande montrent des relations étroites avec le défaut déstructuré. C'est le cas notamment pour le pH ultime (tableau page précédente), le pH1 et la couleur de la viande (L*, a*, b*). Parmi ces critères, c'est avant tout le pH ultime mesuré sur le muscle *Semimembranosus* qui a montré le lien le plus fort avec le défaut et qui permet d'établir une correspondance entre le risque relatif d'obtenir le défaut et le niveau de pH ultime de la viande (fig. page précédente). Si le pHu n'est pas un bon prédicteur du défaut mais une variable explicative importante, tous les auteurs s'accordent sur le fait que le défaut n'apparaît que pour des pHu bas, le risque d'obtenir un jambon déstructuré étant quasi nul pour un pH ultime supérieur à 5,7.

Le pH est un bon prédicteur de la qualité de la viande.

Chez l'animal vivant, le pH musculaire est légèrement supérieur à la neutralité (7,2). Dès l'arrêt cardiaque, la dégradation de l'énergie des muscles (**glycogène**) produit de l'acide lactique. Selon l'état des réserves musculaires, l'état de stress avant l'anesthésie, la sensibilité des animaux et la cinétique de réfrigération des carcasses, la vitesse de chute du pH et son amplitude seront plus ou moins prononcées.

Une vitesse de chute rapide dès l'anesthésie caractérise une viande **PSE (pâle et exsudative)**. L'amplitude de chute et le niveau final du pH seront variables par la suite **selon le niveau des réserves énergétiques des muscles**. La mise en évidence des viandes PSE se fait donc par la mesure du pH, dit pH1, sur la chaîne d'abattage. L'amplitude de la variation du pH est mesurée par le pH ultime, noté **pHu ou pH24**. Sa valeur est à peu près stabilisée à partir de 18 heures post-mortem.

Les **viandes DFD ou viandes sombres** proviennent d'animaux ayant épuisé leurs réserves énergétiques avant l'anesthésie à l'inverse des viandes acides dont le niveau de réserve énergétique n'a pas été suffisamment réduit avant abattage, par une **durée de mise à jeun insuffisante** notamment.



Facteurs de risques

Il est reconnu unanimement que le défaut a une origine **multifactorielle**. Parmi les facteurs de variation étudiés, on peut mentionner le **génotype du locus halothane**, le **type génétique**, l'**âge à l'abattage**, la **durée d'ajournement**, la **durée de transport**, les conditions climatiques et les **caractéristiques des carcasses (poids et taux de muscle)**.

- La **durée de mise à jeun** est un facteur de variation important de la fréquence de déstructuration : l'Ifip a mis en évidence une réduction de fréquence du défaut (9 % vs 0 %) lorsque la mise à jeun passe de 18 h à 30 h. Cette différence est en partie liée à l'augmentation du pH ultime provoqué par l'allongement de la durée de mise à jeun (5,61 vs 5,74 pour une mise à jeun de 18 h et 24 h respectivement appliquée à des porcs Large White x Piétrain). Dans ce sens, dès lors que pour les besoins expérimentaux la durée de mise à jeun est fixée à 24h, la fréquence du défaut est considérablement réduite (de 1,5 % à 5,5 %), alors qu'il est présent sur 17 % des jambons lorsque les conditions de mise à jeun ne sont pas maîtrisées.

Effet de la durée de mise à jeun sur la fréquence de déstructuration des jambons

Note de déstructuration (%)	Durée de mise à jeun			P,=
	18 h	24 h	30 h	
1 (B)	92	92	92	*
2 (M+)	5	7	8	
3 (M-, D)	4	1	0	

***: p<0,001, **: p<0,01, *: p<0,05 (Le Tiran et al., 2003)

- En agissant de la même façon sur le métabolisme énergétique du muscle, les **conditions climatiques** montrent une incidence significative sur le niveau de pH ultime et sur la proportion de jambons déstructurés : pour une température extérieure <5°C, le pH ultime est de 5,87 en moyenne contre 5,55 lorsque la température moyenne est >15°C. Pour ces mêmes variations de température, le taux de viande déstructurée varie entre 0,5 % et 7,5 %, le défaut étant **moins fréquent lorsque la température extérieure est basse**. Cet effet de la température trouve son origine dans la variation du niveau des réserves en glycogène musculaire : lorsque l'animal est à jeun, la forte demande en énergie exigée par la thermorégulation en période froide, entraîne une forte réduction du niveau de glycogène au moment de l'abattage, puis limite l'amplitude de l'acidification de la viande.

Effet de température extérieure sur la fréquence de déstructuration des jambons

pHu	Note de déstructuration (%)				P,=	
	B	M+	M-	D		
< 5°C	5,87 _a	96,7	2,8	0,5	0	***
5°C – 10°C	5,73 _b	93,6	3,5	2,3	0,6	
10°C – 15°C	5,63 _c	84,7	8,1	5,6	1,6	
> 15°C	5,55 _d	83,9	8,6	5,2	2,3	

(Vautier et al. 2005)

• Les caractéristiques de carcasse (TMP et poids de carcasse, notamment) sont également identifiées comme facteur de variation du défaut «viande déstructurée». Les carcasses maigres et conformées sont plus touchées par ce défaut. Ce lien entre caractéristiques de carcasses et fréquence de déstructuration est probablement à rapprocher des variations de qualité de viande rencontrées pour des animaux porteurs du **génotype halothane**. Les porcs porteurs de l'allèle mutant récessif *n* du gène halothane (*Nn*), dont le phénotype est plus maigre et plus conformé, montrent en effet une fréquence de déstructuration plus importante que les porcs non porteurs de l'allèle muté (*NN*) : 17,8 % vs 1,3 % respectivement pour des porcs abattus en conditions standard. Cet écart est nettement accru (61 % vs 15 %) en conditions d'abattage dégradées (mise à jeun de 18 h maximum et absence de repos avant abattage).

Effet du génotype halothane sur la fréquence de déstructuration des jambons

	HAL	Note de déstructuration (%)				P.=
		B	M+	M-	D	
Aubry et al. (2000)	NN	88,3	10,3	1,0	0,3	***
	Nn	68,9	13,3	14,2	3,6	
Le Tiran et al. (2003)	NN	100,0	0,0	0,0		*
	Nn	82,0	9,0	9,0		
Vautier et al. (2011b)	NN	46,0	39,0	11,0	4,0	***
	Nn	15,0	24,0	36,0	25,0	

• L'interaction entre les génotypes halothane et le génotype RN (Rendement Napole, responsable du stockage d'un niveau excessivement élevé de glycogène musculaire) est

très significative pour le défaut déstructuré. La présence simultanée du génotype halothane *Nn* et *RN-* entraîne une forte augmentation du taux de jambons déstructurés ($rn^+rn^+/Nn = 4\%$; $RN^-rn^+/Nn = 58\%$).

• Les conditions de transport et de repos des porcs ont une incidence limitée sur l'apparition du défaut viande déstructurée. En effet, dans une étude croisant différentes durées de transport (1 h vs 3 h) et de repos (2 h vs 6 h), l'Ifip met en évidence une réduction de la fréquence de déstructuration lorsque la durée de transport augmente (0,5 % vs 2,4 %) alors que l'allongement du temps de repos à l'abattoir ne modifie pas la proportion de jambons touchés par le défaut. L'effet du temps de transport sur le taux de viande déstructurée est à nouveau à mettre en relation avec les modifications de pH ultime qu'il entraîne : **une durée de transport plus longue augmente l'énergie dépensée par l'animal pour la régulation de la température corporelle alors que l'animal est à jeun et augmente donc le niveau de pH ultime de la viande** (tableau ci-dessous).

• La cinétique de réfrigération n'est pas clairement identifiée comme un facteur de variation du taux de viande déstructurée. Une première étude réalisée dans deux abattoirs distincts dont les cinétiques de réfrigération présentent un écart de 5°C à cœur du jambon à 2 heures *post mortem*, avait mis en évidence une augmentation significative pour le refroidissement le plus lent de la fréquence du défaut (23,2 % vs 6,0 %) sur des carcasses de poids et de niveau de qualité de viande comparable (même niveau de pH1 et pHu), mais présentant un écart de 2 points de TMP. Les conséquences d'un tel biais de composition corporelle (TMP le plus élevé pour la réfrigération la plus lente) restant difficile à appréhender,

Effet de la durée de transport et de repos sur la fréquence de déstructuration (Minvielle et al., 2003)

		pHu	Note de déstructuration (%)				P.=
			B	M+	M-	D	
Durée de transport	1h	5,76 _a	92,5	5,1	1,9	0,5	*
	3h	5,88 _b	98,4	1,1	0,5	0,0	
Durée de repos	2h	5,81	95,3	2,9	1,6	0,2	ns
	6h	5,80	95,4	3,3	0,9	0,4	

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$

Effet du type de réfrigération sur la fréquence de déstructuration

	Type Froid	Note de déstructuration (%)				P.=
		B	M+	M-	D	
Vautier et al. (2010)	Lent	53,6	23,2	14,5	8,7	**
	Rapide	80,6	13,4	6,0	0,0	
Vautier et al. (2011b)	Lent	25,0	28,0	27,0	20,0	ns
	Rapide	29,0	31,0	26,0	14,0	

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$

notamment au niveau de l'intervention ou non d'une différence dans le statut halothane des carcasses non déterminé dans cette étude, une seconde étude a été conduite dans un abattoir unique. La qualité de viande de carcasses dont les deux demi-côtés ont suivi deux parcours de réfrigération différents (soit une différence de 8°C à cœur à 4 h *post mortem*) a pu être comparée : malgré une augmentation de la dégradation des protéines musculaires et une augmentation de la clarté de la viande (L*) lorsque la cinétique de réfrigération est ralentie, aucune variation significative dans le taux de jambons déstructurés n'a été mise en évidence entre les deux types de réfrigération (tableau ci-dessous).

L'effet du **mode d'étourdissement** sur la fréquence du défaut jambon déstructuré est difficile à estimer en conditions industrielles. L'ifip dans une comparaison de mesures de qualité de viande dans 3 abattoirs met en évidence une fréquence de viande déstructurée supérieure dans un abattoir disposant d'un étourdissement électrique 3 points, en comparaison à un abattoir muni d'un étourdissement électrique deux points et d'un autre ayant un étourdissement au CO₂.

Un écart de pH ultime ayant également été relevé entre les trois abattoirs dont les différences ne se réduisent pas uniquement au système d'étourdissement (cadence d'abattage, système de réfrigération, origine du cheptel), l'effet propre du procédé d'abattage sur le taux de viande déstructurée n'a pas pu être clairement mesuré.

Observations histologiques

Les différentes études histologiques conduites sur des tissus touchés par le défaut viande déstructurée ont montré une **désorganisation de l'alignement des fibres musculaires et l'existence de fibres hypercontractées présentant des fractures** (figure ci-dessous). L'espace interfibrillaire est augmenté (+55%) comparativement aux zones non déstructurées et le muscle déstructuré montre une accumulation de matériaux extracellulaires amorphe. Par contre il n'est pas mis en évidence de différence sur la surface et la forme des fibres musculaires atteintes par le défaut. Le détachement du cytosquelette du sarcolemme et la présence de protéines supposées d'origine sériques dans l'espace extracellulaire permet de distinguer la dégradation liée au défaut déstructuré de la dégradation classique *post mortem* par les calpaïnes.

La microscopie biphonique

La microscopie de génération de second harmonique (SHG) est apparue récemment comme une technique permettant d'obtenir une mesure objective du degré de déstructuration de la fibre musculaire.

Une étude de 2013 montre que la signature SHG d'une zone musculaire déstructurée (ratio de signal simple bande et double bande SHG) est différente d'une zone non déstructurée.

Caractérisation biochimique

Très peu de travaux ont été conduits sur l'exploration des caractéristiques biochimiques et métaboliques du défaut viandes déstructurées.

Les données les plus remarquables sont les analyses en électrophorèse mono et bi-directionnelle sur des échantillons de muscle *Semimembranosus* comparant des jambons sans défaut et des jambons avec le défaut viande déstructurée décrit dans ces travaux sous l'appellation « PSE zone ».

Protéines sarcoplasmiques

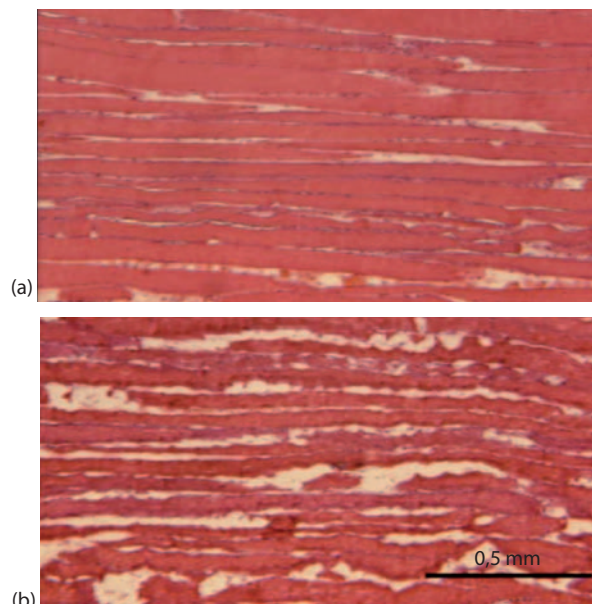
Ces travaux montrent une baisse du niveau de l'expression de certaines protéines (Glycogène Phosphorylase, Créatine Kinase, Triose Phosphate Isomérase) ce qui indique une dégradation des protéines sarcoplasmiques.

Protéines myofibrillaires

Au niveau des protéines myofibrillaires, le constat est différent : sauf pour des chaînes lourdes de myosine MHC (Myosine Heavy Chain), les protéines myofibrillaires sont présentes en quantités plus importantes dans le muscle déstructuré à 72h *post mortem*. C'est en particulier le cas pour la Troponine T, les chaînes légères de Myosine (MLC 1) et l'Alpha-crystalline. La moindre quantité de MHC pourrait résulter soit d'une modification structurale, soit d'une agrégation des protéines sarcoplasmiques dégradées sur la MHC.

Images de microscopie optique de muscle normal (a) et de muscle présentant le défaut déstructuré (b)

(Laville et al., 2005)



Les niveaux des autres protéines myofibrillaires indiquent plus globalement une diminution de la protéolyse *post mortem* classique qui a lieu sous l'effet de protéases comme les calpaines.

Ces observations sur les évolutions de teneurs en protéines myofibrillaires avaient déjà été rapportées dans des travaux sur des muscles atteints par le défaut PSE, l'hypothèse étant faite que l'agrégation probable de protéines sarcoplasmiques sur les protéines myofibrillaires qui protégerait ces dernières de la dégradation protéique *post mortem*.

Une autre similitude avec le défaut PSE est la diminution de la quantité des HSP (Heat Shock Protein, intervenant dans la protection et la réparation des protéines) présentes dans les muscles déstructurés : une absence totale de HSP27 pour les zones déstructurées a été mise en évidence.

On a établi que les HSPs sont en quantités plus réduites dans les viandes issues de porcs de génotype halothane nn et qui présentent les caractéristiques des viandes PSE. Il existe donc au niveau biochimique un grand nombre de similarités entre le défaut PSE et le défaut jambon déstructuré.

Néanmoins, une des principales différences entre ces deux défauts est la localisation et l'étendue du défaut : le défaut déstructuré touchant surtout les **zones les plus profondes des muscles du jambon** (*Adductor*, *Semimembranosus*, *Biceps Femoris*).

L'origine de cette régionalisation du défaut est aujourd'hui mal connue, d'autant que les principaux indicateurs du niveau de risque (pH ultime et pH 1) ne sont pas mesurés directement au niveau de la zone de déstructuration, mais au niveau de la face externe du muscle *Semimembranosus*.

Quantités (ppm) pour les spots (électrophorèse bidimensionnelle) montrant des écarts au moins supérieur à un facteur 2 entre viande PSE et viande normale (Laville et al., 2005)

Spot	Normal	PSE zones
HSP27	519,6	0
Alpha-crystallin (fragment)	304,4	0
MLC1 slow	336,3	966,8
Creatine kinase (fragment)	77,9	1062,8
TroponineT fast	339,4	924,4
Creatine kinase (fragment)	0	268,8

Le collagène

La mesure de la solubilité protéique confirme la dégradation de certaines protéines musculaires lorsque le défaut est présent. Réalisée à faible force ionique (tampon phosphate 0,025 M), la mesure de solubilité cible plus spécifiquement les protéines sarcoplasmiques et cette valeur est globalement plus faible pour les muscles déstructurés. Cette réduction de solubilité protéique n'est constatée pour les jambons déstructurés que localement, au niveau de la face interne du muscle *Semimembranosus* (tableau ci-dessous). La structure collagénique des zones déstructurées a également fait l'objet de travaux de recherche, par le biais de l'étude du rapport entre le collagène total et le collagène thermosoluble. Une teneur en collagène total et en collagène insoluble légèrement inférieure a été parfois mise en évidence pour les zones déstructurées, comparativement aux zones non atteintes par le défaut.

Effet de la note de déstructuration sur la quantité et les caractéristiques du collagène

		Note de déstructuration				P.=
		B	M+	M-	D	
Collagène total (% du muscle frais)	Minvielle et al. (2001)	0,50	0,51	0,50	0,50	ns
	Voutila et al. (2008)	0,37		0,34		ns
Collagène solubilisé (% du collagène total)	Minvielle et al. (2001)	15,8 _a	16,6 _{ab}	17,4 _{ab}	17,8 _b	*
	Voutila et al. (2008)	9,3		9,2		ns
T° contraction maxi (°C)		65,5		65,2		ns

***: p<0,001, **: p<0,01, *: p<0,05

Données biochimiques (PG, GLY, LA, PROTSOL) des faces interne et externe du muscle *Semimembranosus* en fonction de la présence/absence du défaut majeur de déstructuration

	Défaut	Absence (b / m+)		Présence (m- / d)		P.=		
		Externe	Interne	Externe	Interne	Effet défaut	Effet face	Défaut x face
n=		48	48	48	48			
Protéines solubilisées (mg/ml)		55,8 _a	54,6 _a	53,7 _a	48,1 _b	***	***	**
Glycogène (µmol/g.)		38,4 _a	36,4 _a	44,9 _b	39,0 _a	***	***	ns
Lactate (µmol/g.)		78,4 _a	76,6 _a	82,4 _b	82,0 _{bc}	***	ns	ns
Potentiel Glycolytique (µmol/g.)		155,2 _d	149,4 _a	172,2 _b	160,1 _{cd}	***	**	ns

***: p<0,001, **: p<0,01, *: p<0,05

Exemple de tranche de jambon cuit présentant le défaut « tranche pommade »



Les résultats de collagène thermosoluble montrent un taux significativement supérieur pour les zones déstructurées. Toutefois, cette teneur reste identique en présence ou absence du défaut, les caractéristiques de contraction thermique du collagène étant également rapportées comme équivalentes par l'auteur. La confirmation d'une teneur globale identique de collagène quelle que soit la note de déstructuration indique en synthèse une absence de différence à la fois en quantité et en qualité de la fraction collagénique.

Potentiel glycolytique

L'Ifip a mis en évidence que le potentiel glycolytique (PG) comme un estimateur de l'ensemble des réserves énergétiques du muscle en sucres, est assez logiquement supérieur pour le *Semimembranosus* atteint par le défaut, compte tenu du lien fort qu'il existe entre pH ultime et PG ($r = -0,75$ pour le *Semimembranosus*). Une analyse plus fine du métabolisme énergétique a été réalisée sur des prélèvements des faces externes et internes du muscle *Semimembranosus* : ces données montrent qu'il existe des différences métaboliques entre les faces internes et externes de ce muscle lorsqu'il présente le défaut déstructuré. Ainsi, le potentiel glycolytique est localement plus faible au niveau de la face interne (160,1 $\mu\text{mol/g}$ de tissu frais) du muscle qu'au niveau de sa face externe (172,2 $\mu\text{mol/g}$ de tissu frais), ce qui n'est pas le cas pour le muscle qui ne présente pas le défaut. De même, la quantité de glycogène est, dans le cas du muscle déstructuré, significativement plus faible face interne que face externe du muscle

(39.01 vs 44.9 $\mu\text{mol/gr.}$ de tissu frais). Ces observations constituent aujourd'hui la base de nouvelles pistes d'exploration du mécanisme d'apparition du défaut viande déstructurée.

Conséquences de la déstructuration sur les rendements de fabrication industrielles

Conformément aux observations sur les caractéristiques de la déstructuration, concernant le niveau du pH ultime dont le niveau est fortement corrélé au rendement technologique, mais aussi au niveau de la désorganisation de la structure myofibrillaire et degré de protéolyse, le rendement technologique est significativement inférieur lorsque le défaut est présent. Ces observations restent valables qu'il s'agisse de rendement technologique obtenu par la méthode expérimentale (*Napole*) ou par fabrication industrielle individuelle en jambon cuit supérieur.

Relation entre rendement technologique et note de déstructuration du jambon

	Rdt technologique (%) / Note de déstructuration				P.=
	B	M+	M-	D	
Leroy et al. (2001)	92,3 _a	91,8 _a	90,6 _b	89,8 _b	***
Vautier et al. (2011a)	90,9 _a	89,4 _b	87,4 _{bc}	85,5 _c	***
Vautier et al. (2011b)	87,4 _a	86,0 _{ab}	84,8 _b	82,5 _c	***

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$

La relation est beaucoup moins étroite entre la note de déstructuration et les défauts observés au tranchage. Le défaut « pommade » se rencontre lors du tranchage de jambons non touchés par la déstructuration (*tableau ci dessous*) avec une localisation assez proche du défaut déstructuré (muscles *Semimembranosus* et *Adductor*). Malgré tout, la relation note de déstructuration/tranches pommades est beaucoup plus nette lorsqu'on traite la note de déstructuration en absence (notes B / M+) et présence (notes M- / D) plutôt qu'en 4 classes séparées. Pour ces notations extrêmes, le lien est plus fort.

Relation entre technologique et note de déstructuration du jambon

	Rendement au tranchage (%) / Note de déstructuration				P.=
	B	M+	M-	D	
Vautier et al. (2011a) rendement tranchage commercial	94,2 _a	93,6 _{ab}	89,2 _{abc}	80,9 _c	**
Vautier et al. (2011b) % de tranches « pommade »	29,5	23,7	34,3	36,2	ns
	26,0 _a		35,3 _b		*

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$

Conclusion et perspectives

La réduction des pertes économique que représentent le défaut déstructuré ne pourra s'opérer qu'en approfondissant l'étude des mécanismes biochimiques intervenant dans le développement d'un défaut dont la caractérisation est aujourd'hui bien établie.

Il en est tout autre de nos connaissances sur les principales voies métaboliques qui interviennent dans la dégradation de la structure musculaire.

Les axes de recherches s'orientent à court terme vers l'étude conjointe des **modifications du profil des protéines sarcoplasmiques par électrophorèse bidimensionnelle et de l'étude histologique de l'expression du défaut.**

De nouvelles technologies telles que **l'imagerie en second harmonique (SHG)** pourraient également apporter des éléments complémentaires à l'étude histologique classique quand à l'organisation sarcomérique des fibres musculaires atteintes par le défaut.

D'autre part, un autre axe de recherche est développé à l'IFIP depuis 2008 sur le défaut déstructuré : **la détection précoce du défaut dès le stade jambon brut (non désossé).**



Dans l'état actuel de nos connaissances sur le défaut déstructuré, les opérateurs (abatteurs, découpeurs et salaisons) sont à la recherche de méthodes permettant de détecter le défaut de manière plus efficace que l'application d'un tri par borne de pH ultime.

Un seuil élevé (entre pH=5,6 à 5,7 sur le muscle Semimembranosus) permet en effet de réduire considérablement ce risque, mais il décline également une forte proportion de viande à pH intermédiaire, supérieur à 5,5 (entre 30 et 40 % des jambons, qui ne présentent pas le défaut et qui conservent un potentiel pour une transformation en jambon cuit supérieur.

La technologie montrant aujourd'hui de bonnes perspectives de développement est **la spectroscopie dans le domaine du visible et du proche infrarouge** combinée avec l'utilisation de sondes invasives en **fibre optique.**

D'après une première étude exploratoire, la classification des jambons sur la présence/absence du défaut déstructuré par spectroscopie montre en validation croisée un taux de 77 % de jambons bien classés sur un échantillon de 1 185 jambons dont 50 % présentaient le défaut.