



HAL
open science

Influence des modes de cuisson sur la digestion des protéines : approches in vitro et in vivo

Véronique Santé-Lhoutellier, Thierry Astruc, Jean-Dominique Daudin, Alain Kondjoyan, Valérie Scislowski, Claire C. Gaudichon, Didier Rémond

► To cite this version:

Véronique Santé-Lhoutellier, Thierry Astruc, Jean-Dominique Daudin, Alain Kondjoyan, Valérie Scislowski, et al.. Influence des modes de cuisson sur la digestion des protéines : approches in vitro et in vivo. *Innovations Agronomiques*, 2013, 33, pp.69-79. 10.17180/e1j3-t870 . hal-04661089

HAL Id: hal-04661089

<https://hal.inrae.fr/hal-04661089>

Submitted on 24 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Influence des modes de cuisson sur la digestion des protéines : approches *in vitro* et *in vivo*

Santé-Lhoutellier V.¹, Astruc T.¹, Daudin J.D. ¹, Kondjoyan A.¹, Scislowski V.²,
Gaudichon C.³, Rémond D.⁴

¹QuaPA INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

²ADIV, F-63000 Clermont Ferrand

³AgroParisTech, F-75014 Paris

⁴UNH INRA, F-63122 Saint Genès Champanelle

Correspondance: veronique.sante@clermont.inra.fr

Résumé

En France, la consommation de viande représente 1/3 des protéines totales ingérées. Contrairement aux protéines végétales, les protéines de la viande apportent tous les acides aminés essentiels en quantité équilibrée par rapport aux besoins de l'homme, ce qui confère à la viande un potentiel nutritionnel intéressant ; ce potentiel étant la capacité d'une protéine 1) à libérer lors de la digestion des acides aminés et peptides assimilables et 2) à posséder une vitesse de digestion élevée pour induire une synthèse protéique optimale. Pour les personnes âgées, les besoins en protéines rapidement digérées sont supérieurs pour stimuler la synthèse protéique. Qu'il s'agisse des industries agro-alimentaires ou des ménages, la préparation de la viande implique l'application de traitements technologiques. Or, ils génèrent des modifications physico-chimiques des protéines ayant des impacts possibles sur la vitesse de digestion et sur l'assimilation des nutriments.

Pour aborder ce sujet, il est indispensable d'intégrer des connaissances allant des sciences des aliments jusqu'à la nutrition. La stratégie que nous avons développée a consisté à évaluer la variation du potentiel nutritionnel des produits carnés par des approches *in vitro* qui prennent en compte la composition et la structure des matrices et les process, et à évaluer leur impact physiologique *in vivo*.

Mots clés : Protéine, digestion, cuisson, viande, structure et composition

Abstract: Cooking is a key determinant of meat protein digestion: *in vitro* and *in vivo* studies

In France, meat consumption accounts for 1/3 of the total protein intake. Unlike vegetable proteins, meat proteins provide all essential amino acids in balance with human requirements, which gives the meat an interesting nutritional potential. This potential is the ability of a protein 1) to release during the digestion amino acids and peptides bioavailable and 2) have a high rate of digestion to induce optimal protein synthesis. For the elderly, the need for rapidly digested proteins is superior to stimulate the protein synthesis. Before any consumption, meat is processed. However, the application of technological treatments generates physicochemical modifications of proteins with potential impacts on the rate of digestion and the uptake of nutrients.

To address this issue, it is essential to integrate knowledge from food science to nutrition. The strategy we developed was to assess the variation of nutritional potential of meat produced by *in vitro* approaches that take into account the composition and structure of the matrices and processes, and to assess their physiological effect *in vivo*.

Keywords: Protein, digestion, cooking, meat, structure and composition

Introduction

Par leur abondance et leur équilibre en acides aminés indispensables, les protéines de la viande confèrent à cet aliment une forte valeur nutritionnelle. Cette valeur peut cependant être modulée par l'efficacité de leur utilisation digestive. Les rares études réalisées chez l'Homme, montrent que la digestibilité des protéines de la viande, mesurée sur l'ensemble du tractus digestif, est très élevée (95-97%). L'intérêt de ces mesures sur l'ensemble du tractus digestif est cependant limité. En effet, seules les protéines alimentaires digérées dans l'intestin grêle participent à la fourniture d'acides aminés pour l'organisme. De plus l'absorption des acides aminés au niveau du gros intestin est en effet très limitée, voire inexistante, principalement en raison de l'absence d'une concentration significative en acides aminés libres, ou peptides, à l'intérieur de ce compartiment digestif. L'efficacité de la digestion dans l'intestin grêle va dépendre de l'efficacité de la première étape de digestion, dans l'estomac. Celle-ci est en partie déterminée en amont par la mastication et la structure de l'aliment. Par ailleurs, les viandes subissent généralement un ou plusieurs traitements technologiques avant d'être consommées. Trois grandes catégories se dessinent : le traitement mécanique qui consiste à déstructurer le produit puis à le ré-assembler ; le traitement chimique qui par action de solutés (sels, acides, épices,...) va modifier la structure et la composition du tissu ; et le traitement thermique pour lequel les effets sont variables selon la température et la durée ciblées. Lors de ces traitements la macro et micro-structure de la matière première est modifiée par le biais des changements physico-chimiques impliquant les protéines, les lipides et les micronutriments. Ces modifications de structure à l'échelle de l'aliment sont susceptibles de modifier et notamment réduire l'accessibilité aux sites de coupures pour les enzymes de la digestion. Le devenir digestif des protéines pourra ainsi être potentiellement modifié par la nature des opérations unitaires impliquées dans la préparation des viandes et notamment par les traitements thermiques. Les principaux résultats sur l'impact des procédés sur la digestion des protéines, résultats obtenus *in vitro* et *in vivo*, sont présentés dans ce document. Ils sont issus du projet PRONUTRIAL (ANR-09-ALIA-008-01) financé par l'agence nationale de la recherche (ANR).

1. Impact de la cuisson sur les paramètres *in vitro* de digestion des protéines de la viande

1.1 Modèle de digestion *in vitro*

Pour les études de screening d'une multitude de procédés technologiques, un modèle de digestion *in vitro* mimant les étapes gastriques et intestinales a été développé. Il s'agit d'une digestion *in vitro* à la pepsine seule (étape gastrique) et ensuite avec un mélange de trypsine et chymotrypsine (étape intestinale). Pour comparer toutes les conditions de process testées, plusieurs paramètres de digestion ont été définis et caractérisés. Ainsi d'après la Figure 1, six paramètres sont décrits :

- La vitesse initiale de digestion mesurée sur les 15-20 premières minutes
- Le potentiel de dégradation maximale ou la DO maximale que peut atteindre la cinétique de digestion
- Le temps de demi-vie qui correspond à la durée nécessaire pour dégrader la moitié des protéines présentes en suspension
- La vitesse initiale maximale que peut atteindre la cinétique de digestion
- Le temps que met l'enzyme pour atteindre la vitesse initiale maximale

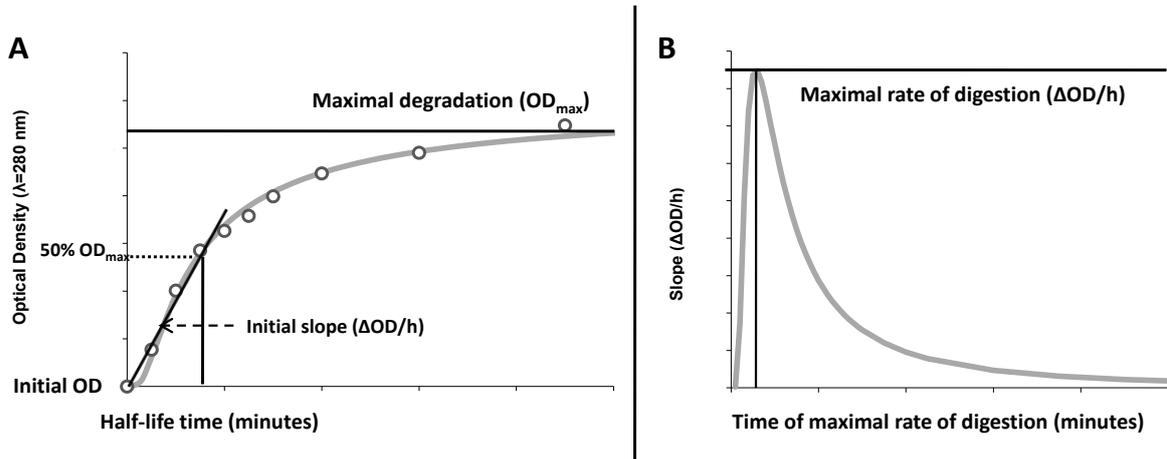


Figure 1 : Allure des courbes et paramètres de digestion. Ci-dessous les équations correspondantes

$$(A) OD = OD_{max} \times \exp\left(-\frac{B}{Time}\right) \quad (1)$$

$$(B) \frac{d(OD)}{d(Time)} = 60 \times OD_{max} \times B \times \frac{1}{(Time)^2} \times \exp\left(-\frac{B}{Time}\right)$$

1.2 Impact de la cuisson sur les paramètres de digestion

Trois traitements thermiques ont été choisis : 70°C, 100°C et 140°C pour une même durée de 30 minutes. La matrice modèle est le muscle *Longissimus* de porc mûré.

Les pertes de poids à la cuisson représentent 21,5% à une température de 70°C, 31,5% pour 100°C et 58,2% pour 140°C. Ces valeurs sont comparables à celles de la littérature (Aaslyng *et al.*, 2003). La vitesse initiale de digestion des viandes ne diffère pas au cours de la maturation, qui est de quatre jours pour de la viande de porc. Ce résultat est en accord avec les données obtenues sur des viandes d'agneau conservées pendant une semaine et avec une quantité de pepsine deux fois supérieure à nos conditions (Santé-Lhoutellier *et al.*, 2008). Par contre un traitement thermique à 70°C résulte en une augmentation de la vitesse de digestion à la pepsine, qui n'est plus observée à 100°C et 140°C (Figures 2 et 3).

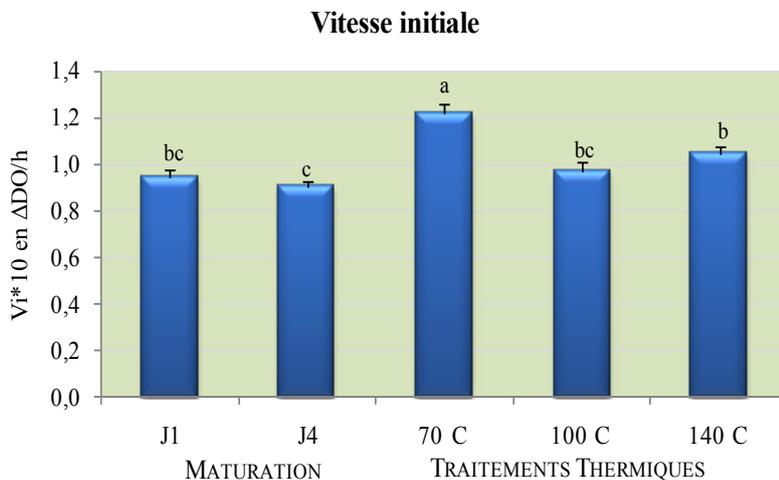


Figure 2 : Vitesse initiale de digestion *in vitro* à la pepsine

Dégradation maximale

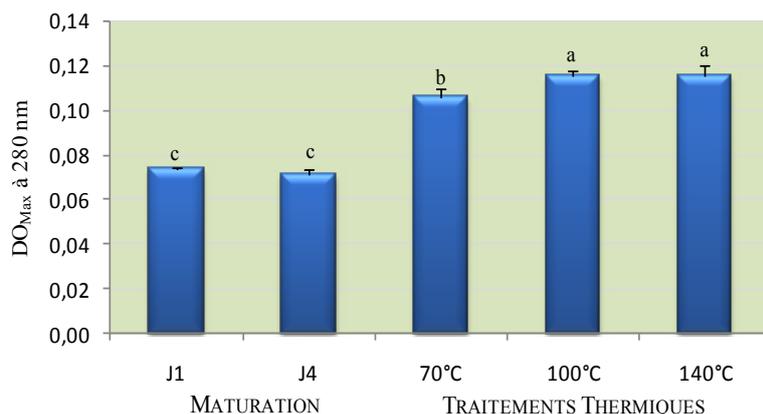


Figure 3 : Effets de la maturation et des traitements thermiques sur la dégradation maximale.

Ce résultat peut s'expliquer par des modifications structurales des protéines induites par l'action du chauffage permettant une bioaccessibilité accrue des protéases digestives. Il se peut que les acides aminés aromatiques, hydrophobes, se retrouvent en surface des protéines de la viande, acides aminés correspondant aux sites de coupure de la pepsine. A des températures supérieures s'ajoutent à l'augmentation de l'hydrophobie de surface, des phénomènes d'agrégation, qui sembleraient limiter l'accessibilité de la pepsine à ses sites de coupure.

1.3 Impact de la cuisson sur les structures moléculaires et tissulaires

L'étude des structures moléculaire et tissulaire est entreprise pour mieux comprendre leur impact potentiel sur les paramètres de digestion recueillis précédemment. Les mesures de changements de structure, d'agréations protéiques sont présentées dans le Tableau 1. Les résultats montrent qu'il y a une augmentation du nombre de particules ainsi qu'une augmentation de la circularité et du ratio Feret¹ en ce qui concerne l'effet de la maturation de la viande. Les traitements thermiques au-delà de 100°C réduisent de façon drastique le nombre et le diamètre des particules et conduisent à une augmentation de leur circularité. Ces données mettent en évidence la formation d'agrégats protéiques à la cuisson, et renseigne sur la perte de la structure fibreuse des particules en faveur de structures plus compactes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Promeprat *et al.* (2010) qui rapportent une augmentation graduelle de la circularité en fonction de la cinétique de chauffage.

Tableau 1 : Paramètres d'agrégation protéique

	Nombre de particules	Diamètre (µm)	Circularité	Ratio Feret
J1	25293,69 ± 2232,4 ^b	13,43 ± 0,24 ^a	0,7481 ± 0,0043 ^d	0,7303 ± 0,0047 ^b
J4	34915,73 ± 1267,64 ^a	13,60 ± 0,07 ^a	0,7883 ± 0,0007 ^c	0,7524 ± 0,0010 ^a
70°C	16763,77 ± 3495,89 ^{bc}	8,83 ± 0,23 ^c	0,8208 ± 0,0026 ^b	0,74915 ± 0,0054 ^a
100°C	10562,71 ± 2114,42 ^c	10,13 ± 0,30 ^b	0,8434 ± 0,0044 ^a	0,7606 ± 0,0040 ^a
140°C	8652,79 ± 1964,84 ^c	8,58 ± 0,26 ^c	0,8481 ± 0,0043 ^a	0,7601 ± 0,0049 ^a

¹Ratio Feret : rapport d'élongation d'une particule

Dans l'optique d'évaluer le rôle de la composition du tissu musculaire, la susceptibilité des protéines à s'oxyder était comparée entre des viandes issues de porc élevé de façon conventionnelle (groupe A) et en plein air (groupe B). Les modifications physicochimiques des protéines au chauffage soulignent l'importance de la dénaturation protéique qui opère dès 70°C comme le souligne le saut d'intensité d'hydrophobie de surface.

Les oxydations protéiques présentent une augmentation progressive en fonction de la température (Figure 4). Dans nos conditions nous n'avons pas fait varier la durée de chauffage qui était de 30 minutes. L'oxydation lipidique montre une courbe en cloche. Les produits de peroxydation augmentent avec la température jusqu'à 70°C, ensuite ces produits réagissent avec des protéines notamment pour former des bases de Schiff ou bien deviennent volatils et ne peuvent être détectés avec la méthode utilisée. Ces bases de Schiff constituent une première étape dans l'agrégation à l'échelle moléculaire et de nouvelles interactions moléculaires.

Donc, le potentiel nutritionnel de la matrice viande est directement impacté par les changements structuraux, eux-mêmes induits par les traitements technologiques.

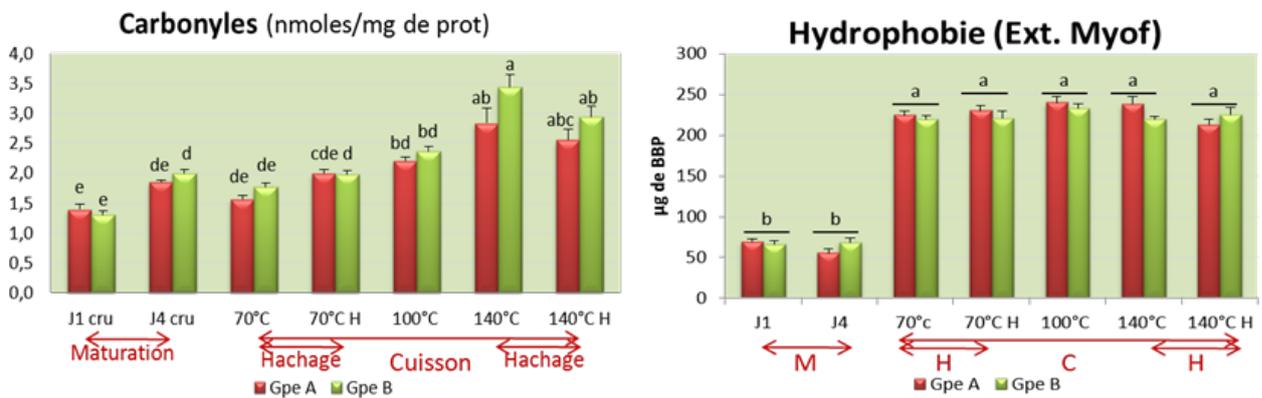


Figure 4 : Oxydation des acides aminés basiques (lysine, arginine et histidine) exprimée en nmoles de carbonyles par mg de protéines et mesure de l'hydrophobie de surface des protéines exprimée en µg de Bleu de Bromophénol lié aux protéines.

A l'échelle tissulaire, on observe que la cuisson provoque une importante contraction latérale des cellules plus marquée à 60 °C qu'à 90 °C. Le chauffage modifie la structure du tissu conjonctif, mais ce dernier reste en place et conserve partiellement son antigénicité comme le prouvent les immunomarquages du collagène et de la laminine encore visibles (Figure 5). La laminine est une protéine située sur la lame basale des cellules musculaires. Un immunomarquage de la laminine permet de bien visualiser la délimitation des cellules. Cependant il faut noter que le temps de mesure (correspondant au temps d'exposition des coupes cellulaires) a été quadruplé pour que le niveau de fluorescence du collagène et de la laminine soit équivalent à celui de la viande crue (témoin). Cela nous renseigne sur la perte d'antigénicité cependant difficile à quantifier. En effet il n'existe pas forcément de relation linéaire entre le temps d'exposition et la fluorescence mesurée. Cette perte d'antigénicité peut être la résultante de la contraction du collagène au chauffage et de sa gélatinisation partielle. En effet, la gélatinisation du collagène s'accompagne d'une modification des hélices des chaînes alpha et la formation de boucles. Plus les chaînes alpha sont courtes et plus les repliements et formation de boucles seront importants.

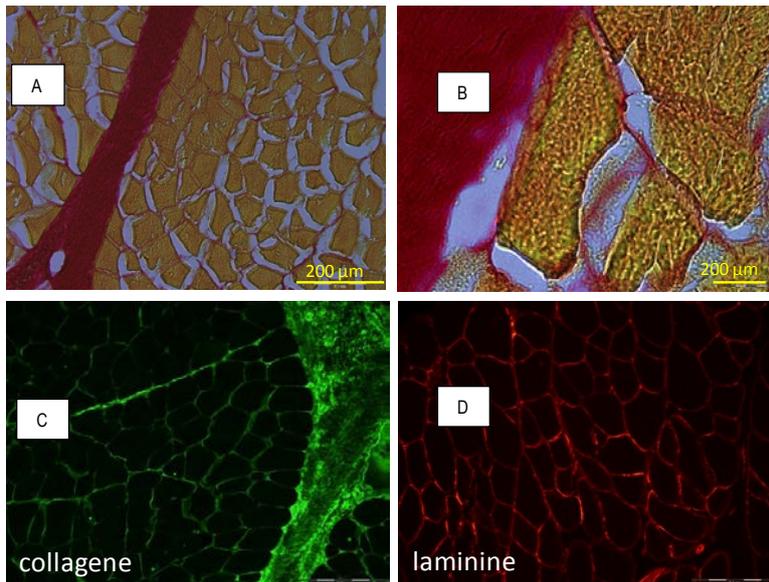


Figure 5 : Effet du chauffage sur l'évolution du tissu conjonctif (60°C) : coloration du collagène en rouge (A et B); détection du collagène par immunofluorescence (C) et de la laminine par immunofluorescence (D).

A l'échelle ultrastructurale, après une cuisson à 60 °C, les myofibrilles apparaissent plus claires que dans la viande crue. Une ondulation des myofibrilles est mise en évidence probablement consécutive à la contraction du collagène dans l'espace extracellulaire. L'espace extramyofibrillaire semble augmenter après traitement thermique. Les coupes longitudinales permettent de repérer aisément les stries Z et les sarcomères, repères toujours visibles après chauffage. Cependant, les myofilaments ne sont plus distingués, vraisemblablement en raison de la coagulation des protéines myofibrillaires (Figure 6).

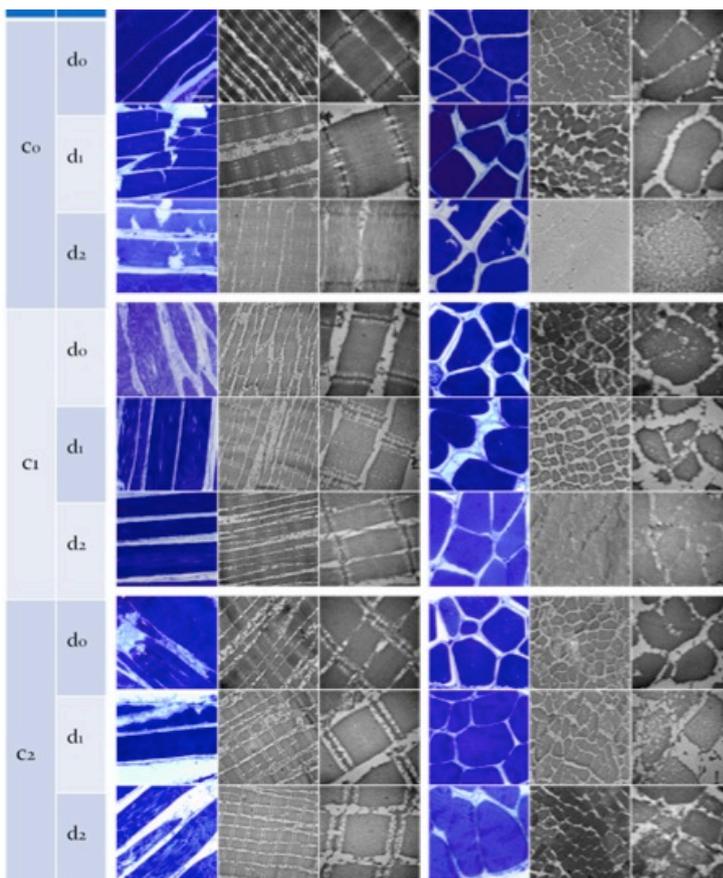


Figure 6 : Coupes transversales et longitudinales de viandes crue (C0), chauffée à 60°C (C1) et 90°C (C2). d0 : échantillon non digéré, d1 : échantillon digéré à la pepsine, d2 : échantillon digéré à la pepsine + trypsine/chymotrypsine

Après chauffage, on note l'apparition de déstructuration sous la forme de microbulles au niveau de la bande I à proximité de strie Z. L' α -actinine, principal constituant de la strie Z est la plus labile et coagule à 50 °C et la dénaturation de la tropomyosine dans les filaments fins a lieu entre 35 °C et 60 °C. Les caractéristiques thermiques de ces protéines pourraient expliquer ces modifications morphologiques de la bande I. De plus, des micro-trous sont visibles dans la bande A, en particulier, à proximité de ligne M. LaMyBP-C (protéine C) qui est un composant de cette zone semble être plus sensible à la cuisson que le reste de la bande A. La myosine qui est majoritaire dans la bande A se dénature à partir de 55 °C.

Les sections transversales mettent aussi en évidence des modifications ultrastructurales importantes au niveau des myofibrilles qui présentent des trous ou des zébrures blanches, quelle que soit la température de chauffage. Enfin, le volume d'espace extramyofibrillaire est maximum pour une température de chauffage de 60 °C, résultat quelque peu surprenant.

Pour une cuisson à 90°C, des cassures de grande taille sont observées sur les myofibrilles. L'aspect des membranes est préservé mais comme lors de la cuisson à 60 °C, la masse myofibrillaire s'est contractée laissant apparaître des espaces subsarcolemmaux importants contenant de nombreux agrégats protéiques. La strie Z est épaisse et discontinue et la bande I est très affectée par le traitement. Ces structures semblent plus dégradées que dans le cas d'une cuisson à 60 °C. Contrairement au témoin cru, les myofilaments sont complètement coagulés et il est impossible de les distinguer. Ce résultat s'explique en partie par le fait que la myosine se dénature aux alentours de 55 °C et l'actine, la troponine et la tropomyosine vers 80 °C. La longueur des sarcomères diminue de 15.7 % ($p < 0.001$) après une cuisson à 90 °C.

L'ensemble de ces données permet d'appréhender les différents changements que subissent les matrices carnées et les protéines ; aussi bien qualitativement que quantitativement.

Il est apparu important de développer des approches de modélisation de ces phénomènes en raison de la multitude de conditions de process, type de matrice, ... Ces travaux de modélisation sont, à ce jour, en cours et tiennent compte, outre des données de process et du type de matrice, de la physiologie de la digestion à savoir le pH et l'activité des enzymes digestives.

2. Impact de la cuisson sur les paramètres *in vitro* de digestion des protéines de la viande

2.1 Modèle mini porc

Les critères classiques d'évaluation de la qualité d'une source de protéines sont basés sur la composition en acides aminés (AA), et la digestibilité des protéines dans le tube digestif. On sait maintenant que ces critères de base ne suffisent pas à décrire pleinement le potentiel nutritionnel d'une protéine. Par exemple, il a été montré que la vitesse de digestion des protéines régule la rétention des protéines postprandiales (Dangin *et al.*, 2003). En outre, la digestibilité totale n'est pas un bon prédicteur de la biodisponibilité des acides aminés. Les mesures de digestibilité iléale vraie (TID pour true ileal digestibility) sont donc plus appropriées, mais elles sont difficiles à obtenir chez l'homme sain. Quelques mesures de TID ont été réalisées sur des protéines isolées, par la collecte du chyme iléal en utilisant une sonde naso-intestinale (Bos *et al.*, 2005 ; Mariotti *et al.*, 1999). Il existe très peu d'études sur la digestion *in vivo* des protéines carnées. Chez l'Homme, l'utilisation digestive des protéines de la viande mesurée sur l'ensemble du tractus digestif est très élevée (97-100%, Young *et al.*, 1975, Wayler *et al.*, 1983). Des études chez le rat montrent que cette valeur n'est pas affectée par la teneur en collagène de la viande, bien que les protéines du tissu conjonctif soient plus résistantes à l'attaque des enzymes protéolytiques (Laser-Reutersward *et al.*, 1982). L'intérêt de ces mesures sur l'ensemble du tractus digestif est cependant limité. En effet, seules les protéines alimentaires digérées dans l'intestin grêle participent à la fourniture d'acides aminés pour l'organisme.

De plus ces mesures ne renseignent pas sur la quantité et la nature des protéines alimentaires entrant dans le colon, celles-ci pouvant influencer la nature de la flore résidante et les produits terminaux des fermentations. La digestibilité dans l'intestin grêle des protéines de la viande a été rarement mesurée chez l'homme en raison des difficultés de prélèvement d'effluents iléaux suite à l'ingestion d'un aliment solide. L'unique étude dans le domaine, réalisée sur des patients iléostomisés, montre que les mécanismes de la digestion dans l'intestin grêle sont très efficaces vis-à-vis des protéines carnées, et que leur digestibilité mesurée à la fin de l'intestin grêle est très élevée (94%, Silvester et Cummings, 1995). Cependant, il n'existe pas de travaux permettant d'évaluer l'impact du type de viande ni des traitements technologiques sur ce paramètre. Les travaux visent à déterminer l'impact des traitements technologiques sur les paramètres de la digestion dans l'intestin grêle (vitesse et quantité absorbée), et sur la nature et la quantité des protéines résiduelles entrant dans le gros intestin.

Pour les mesures de digestion *in vivo* nous utilisons le mini porc comme animal modèle. Bien que la digestibilité dans l'ensemble du tractus digestif soit légèrement plus élevée chez le porc que chez l'homme, l'importance de la digestion avant le gros intestin est équivalente (Rowan *et al.*, 1994). Les animaux sont équipés d'une canule au niveau de l'iléon pour permettre le prélèvement des contenus digestifs à la fin de l'intestin grêle. Ils sont également équipés d'un cathéter vasculaire permanent (aorte abdominale) pour déterminer la cinétique d'apparition des acides aminés alimentaires dans le compartiment sanguin.

Pour permettre la différenciation entre protéines alimentaires et protéines endogènes dans les effluents iléaux, les viandes sont issues d'un bovin dont les protéines corporelles sont préalablement marquées avec de l'azote-15 (^{15}N).

Cette approche a été testée en utilisant un veau perfusé par voie intraveineuse avec un cocktail d'acides aminés marqués contenant 99% de ^{15}N . L'enrichissement en ^{15}N obtenu dans les muscles au bout de 15 jours a été de 0.5%. Après abattage, la viande marquée a été cuite, hachée et distribuée à des miniporcs. Des prélèvements de contenus digestifs ont été réalisés en cinétique après l'ingestion du repas.

2.2 Cinétique de la concentration en acides aminés plasmatiques

L'effet de la température de cuisson sur la cinétique de la concentration plasmatique en acides aminés indispensables (AAI) est présenté dans la Figure 7. Le changement de concentration durant les 3 premières heures après l'ingestion de repas est principalement dû à l'absorption d'acides aminés. Ainsi, la cinétique de la concentration plasmatique des acides aminés indispensables dans cet intervalle de temps est un bon indice de la vitesse de digestion. Aussi bien la forme de la courbe (Figure 7) et l'aire sous la courbe indiquent une augmentation de la vitesse de digestion, lorsque la température de cuisson de la viande a augmenté de 60 à 75 ° C, et une diminution de la vitesse de digestion, lorsque la température a été augmentée de 75 à 95 ° C. Cependant, ni la concentration plasmatique maximale en AAI, ni l'aire sous la courbe de l'ensemble de la période post-prandiale 6 h n'ont été affectées par les températures de cuisson.

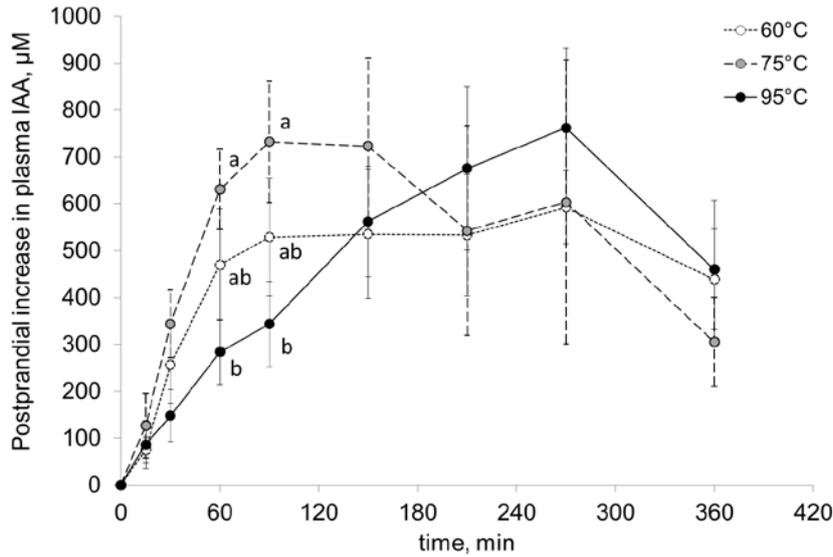


Figure 7 : Cinétique d'apparition des acides aminés indispensables (AAI) dans le plasma en fonction de la température de cuisson

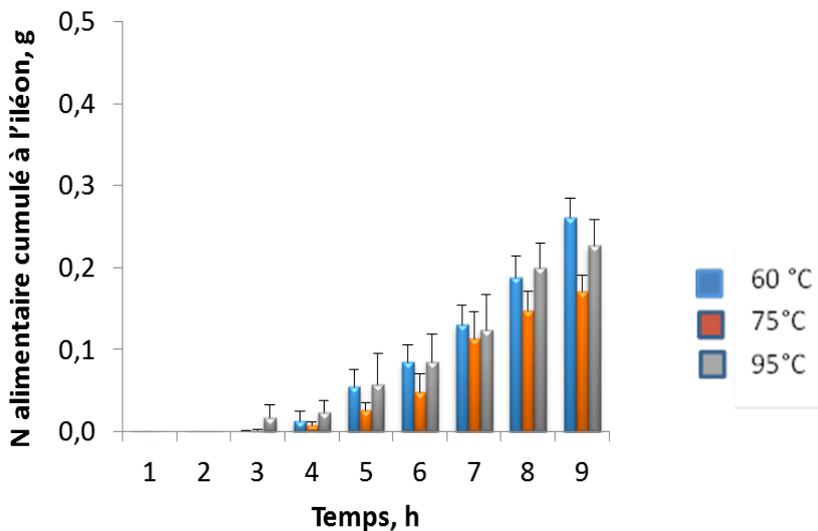


Figure 8 : Azote alimentaire cumulé mesuré dans l'iléon en fonction de la température de cuisson

Une des originalités de notre étude est la production de viande dont les acides aminés ont été uniformément marqués à l'azote 15 pour permettre la distinction de l'aliment et la mesure de la digestibilité réelle dans l'intestin grêle. La vitesse d'apparition des acides aminés dans le sang, suite à l'ingestion des viandes, est supérieure pour une température de cuisson à cœur de 75°C, par rapport à des cuissons à 60 ou 95°C. Par contre, contrairement à ce qui était observé *in vitro*, nous avons montré que la température de cuisson n'affecte pas la quantité totale de protéines digérées dans l'intestin grêle (environ 95% des protéines ingérées). *In vivo*, la capacité enzymatique et le temps de séjour dans l'intestin grêle, sont donc toujours suffisants pour compenser d'éventuelles différences de digestion dans l'estomac, et assurer ainsi une dégradation maximale des protéines de la viande avant le côlon. Ainsi, le degré de cuisson de la viande va essentiellement influencer sur l'efficacité de la digestion par la pepsine, conduisant à une sortie de l'estomac et une attaque des protéines par les enzymes pancréatiques plus ou moins rapides, conditionnant la cinétique d'apparition des acides aminés dans le sang. Dans cette étude, le rôle de la mastication a été volontairement élué, or des études menées récemment ont montré que cette dernière avait une influence importante sur la digestion, il serait donc intéressant d'intégrer cet aspect dans de futures expériences.

2.3 Etude chez l'Homme

Les premiers travaux réalisés avec deux modalités de chauffage (55°C, 5min et 90°C, 45 min) ont débuté. Les résultats partiels à ce jour montrent, en termes de vitesse de digestion, un passage du repas plutôt plus rapide pour la cuisson à 55°C (les 4 premières heures), contre les 5/6 premières heures pour la cuisson à 90°C. Les mesures de digestibilité des protéines de viande ne sont pas concluantes par rapport à la littérature et nécessitent des corrections par ajout d'un marqueur de repas. En termes de métabolisme, il n'est pas observé de différences quant au transfert de l'azote alimentaire dans les pools d'acides aminés et protéines plasmatiques entre les deux cuissons. En termes de pertes métaboliques, il n'existe pas de différence concernant les pertes d'azote alimentaires dans l'urine. Par contre l'incorporation d'azote dans le pool d'urée corporelle semble plus rapide et plus importante pour la cuisson à 55°C. Les travaux étant en progrès, il demeure délicat d'établir une conclusion définitive quant au volet Homme.

Conclusion

Les approches *in vitro* ont révélé que la température de cuisson est l'un des principaux déterminants de la vitesse de digestion (Bax *et al.*, 2012). Par rapport à la viande crue, la vitesse de digestion augmente avec une température de cuisson proche de 70°C. Cet effet s'explique par une dénaturation progressive de protéines, qui expose les sites de clivage pour les enzymes digestives, alors qu'à des températures supérieures des phénomènes d'oxydation conduisent à l'agrégation de protéines, masquant ainsi les sites de clivage. Bien qu'*in vivo* des facteurs de régulation (tels que les interactions avec les autres constituants alimentaires, les sécrétions enzymatiques, la vidange gastrique, ...) soient susceptibles de contribuer à l'augmentation des acides aminés indispensables dans le plasma, les mêmes tendances que celles enregistrées *in vitro* ont été observées, à savoir une vitesse de digestion augmentée pour une température de cuisson autour de 70°C.

En conclusion, la digestibilité des protéines des viandes dans l'intestin grêle est élevée, et ce quelle que soit la température de cuisson et la quantité consommée. De ce fait, les résidus de protéines de viande entrant dans le côlon seront relativement faibles. Cette étude montre que la vitesse de la digestion des protéines, un paramètre d'intérêt accru pour la nutrition, peut être modulée par la préparation de la viande, une digestion plus lente observée avec la température de cuisson élevée. En termes d'implication nutritionnelle, ces protéines dites rapides sont plus efficaces pour améliorer l'anabolisme protéique postprandial afin de lutter contre la sarcopénie chez les personnes âgées.

Références bibliographiques

- Aaslyng M.D., Bejerholm C., Ertbjerg P., Bertram H.C., Andersen H.J., 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food quality and preference* 14, 277-288
- Bax M.L., Aubry L., Ferreira C., Daudin J.D., Gatellier P., Rémond D., Santé-Lhoutellier V., 2012. Cooking temperature is a key determinant of *in vitro* meat protein digestion rate: investigation of underlying mechanisms. *J Agric Food Chem* 60, 2569-2576
- Bos C., Juillet B., Fouillet H., Turlan L., Daré, S., Luengo C. *et al.* 2005. Postprandial metabolic utilization of wheat protein in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 81, 87-94.
- Dangin M., Guillet C., Garcia-Rodenas C., Gachon P., Bouteloup-Demange C., Reiffers-Magnani K. *et al.*, 2003. The rate of protein digestion affects protein gain differently during aging in humans. *Journal of Physiology-London* 549, 635-644.

Laser-Reutersward A., Asp N.G., Bjorck I., Ruderus H., 1982. Effect of collagen content and heat treatment on protein digestibility and biological value of meat products. *International Journal of Food Science & Technology* 17, 115-123.

Mariotti F., Mahé S., Benamouzig R., Luengo C., Daré S., Gaudichon C. *et al.*, 1999. Nutritional value of [¹⁵N]-soy protein isolate assessed from ileal digestibility and postprandial protein utilization in humans. *Journal of Nutrition* 129, 1992-1997.

Promeyrat A., Bax M.L., Traoré S., Aubry L., Santé-Lhoutellier V., Gatellier P., 2010. Changed dynamics in myofibrillar protein aggregation as a consequence of heating time and temperature. *Meat Sci.* 85, 625-631.

Rowan A.M., Moughan P.J., Wilson M.N., Maher K., Tasman-Jones C. 1994. Comparison of the ileal and faecal digestibility of dietary amino acids in adult humans and evaluation of the pig as a model animal for digestion studies in man. *British Journal of Nutrition* 71, 29-42.

Santé-Lhoutellier V., Astruc T., Marinova P., Grève E., Gatellier P., 2008. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *J. Agric. Food Chem.* 56, 1488-1494.

Silvester K.R., Cummings J.H., 1995. Does digestibility of meat protein help explain large-bowel cancer risk. *Nutrition and Cancer-An International Journal* 24, 279-288.

Wayler A., Queiroz E., Scrimshaw N.S., Steinke F.H., Rand W.M., Young V.R., 1983. Nitrogen-balance studies in young men to assess the protein-Quality of an isolated soy protein in relation to meat proteins. *Journal of Nutrition* 113, 2485-2491.

Young V.R., Fajardo L., Murray E., Rand W.M., Scrimshaw N.S., 1975. Protein requirements of man - Comparative nitrogen-balance response within submaintenance to maintenance range of intakes of wheat and beef proteins. *Journal of Nutrition* 105, 534-542.