



## **Indicateurs de qualité de viande chez le porc**

**Importances respectives du pH ultime et du taux de lipides intramusculaires dans la détermination de la qualité sensorielle**

**Rapport d'étude**

**Juin 2006**

**Antoine VAUTIER<sup>1</sup>, Bénédicte LEBRET<sup>2</sup>, Ludovic BROSSARD<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ITP Pôle Qualité des Produits, 35650 Le Rheu

<sup>2</sup>INRA UMR SENAH, 35650 Saint-Gilles

Etude financée par l'Office de l'Elevage

# Sommaire

<a href="#">Résumé :</a> .....	3
<a href="#">1. Introduction</a> .....	4
<a href="#">1.1. Le contexte</a> .....	4
<a href="#">1.2. Objectif de l'étude :</a> .....	7
<a href="#">2. Matériel et Méthodes</a> .....	7
<a href="#">2.1. Constitution de la base de données</a> .....	7
<a href="#">2.2. Analyses statistiques des données :</a> .....	9
<a href="#">3. Résultats</a> .....	9
<a href="#">3.1. Identification des variables explicatives de la qualité sensorielle :</a> .....	9
<a href="#">3.2 Contribution des caractéristiques biologiques à la variabilité de qualité sensorielle :...</a>	14
<a href="#">4. Discussion</a> .....	15
<a href="#">5. Conclusion</a> .....	16
<a href="#">6. Références bibliographiques</a> .....	17

## Résumé :

Comme tout produit alimentaire, la qualité de la viande de porc regroupe plusieurs composantes : sanitaire, nutritionnelle ou diététique, sensorielle, technologique, et, parfois, qualité d'image. L'aspect visuel, la tendreté, la jutosité et la flaveur caractérisent la qualité sensorielle en particulier (Lebret et al., 1999). Aspect visuel : le consommateur recherche en général une viande ni trop pâle, ni trop foncée, et de couleur homogène. La couleur dépend de la quantité de myoglobine, liée au pourcentage de fibres rouges, de l'état chimique de ce pigment, de la structure du muscle réfléchissant la lumière et du pH. La tendreté, dépend de la durée de maturation, du pH et de la rétention d'eau dans la structure myofibrillaire, de la microstructure du muscle, et des teneur, répartition et degré de polymérisation du collagène musculaire. La jutosité est liée à la quantité d'eau libre subsistante dans la viande et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les lipides. La flaveur correspond, quand à elle, aux perceptions olfactives et gustatives lors de la dégustation (production de composés volatils de faible poids moléculaires issus de la dégradation des lipides ou des réactions de Maillard). Cette description montre l'importance des critères pHu et taux de lipides intramusculaires dans la détermination des qualités sensorielles et technologiques des viandes de porc. Toutefois, le poids respectif de ces deux critères dans la détermination des différentes composantes de la qualité n'est pas établi. Nous disposons au travers de plusieurs études traitant de l'influence de différents facteurs de production sur la qualité sensorielle, d'un ensemble de données individuelles pour ces critères obtenus dans des conditions contrôlées. Une analyse statistique globale de ces données (10 expériences soit 508 données individuelles) constitue une bonne approche pour contribuer à préciser les relations entre les critères biochimiques et physico chimiques mesurés en abattoir et les notes attribuées par les jurys de dégustation. L'objectif de ce travail était d'identifier les critères expliquant le mieux les variations de qualité observées et si possible, de proposer des bornes sur ces critères. Le traitement en analyse de variance de cette base de donnée a permis de confirmer l'effet significatif du taux de lipides intramusculaires sur les quatre principaux descripteurs de la qualité sensorielle (tendreté, jutosité, flaveur globale, flaveur typique). Cet effet est conforme à de nombreuses études réalisées par le passé sur la qualité sensorielle de la viande de porc, et est confirmé par l'analyse en régression intra-expérience. D'autre part, l'absence d'effet significatif du pH ultime sur la qualité sensorielle à la fois lors du traitement en analyse de variance et en régression intra-expérience (seulement une tendance statistique) est en désaccord avec une proportion conséquente de la bibliographie sur le sujet. De nombreux auteurs ayant mis en évidence des corrélations significatives entre les mesures de pH ultime et la tendreté et jutosité notamment, il se peut que la conception des protocoles expérimentaux des études de notre base de données (objectifs de réduction des écarts de qualité technologique entre lots) soit en partie à l'origine de cette absence de corrélation, comme le montre la variabilité assez réduite des données de pH ultime. Enfin, les données de pH1 montrent une absence d'effet significatif bien que le caractère exsudatif de la viande soit identifié par certains auteurs comme ayant une incidence sur la tendreté. Ces conclusions mettent en avant les problèmes de comparaison d'expériences dont les conditions de réalisation sont assez différentes, la réponse à la question de l'importance relative du pH ultime et du gras intramusculaire devant être abordé ultérieurement dans une étude au protocole expérimental adapté à cet objectif.

# 1. Introduction

## 1.1. Le contexte

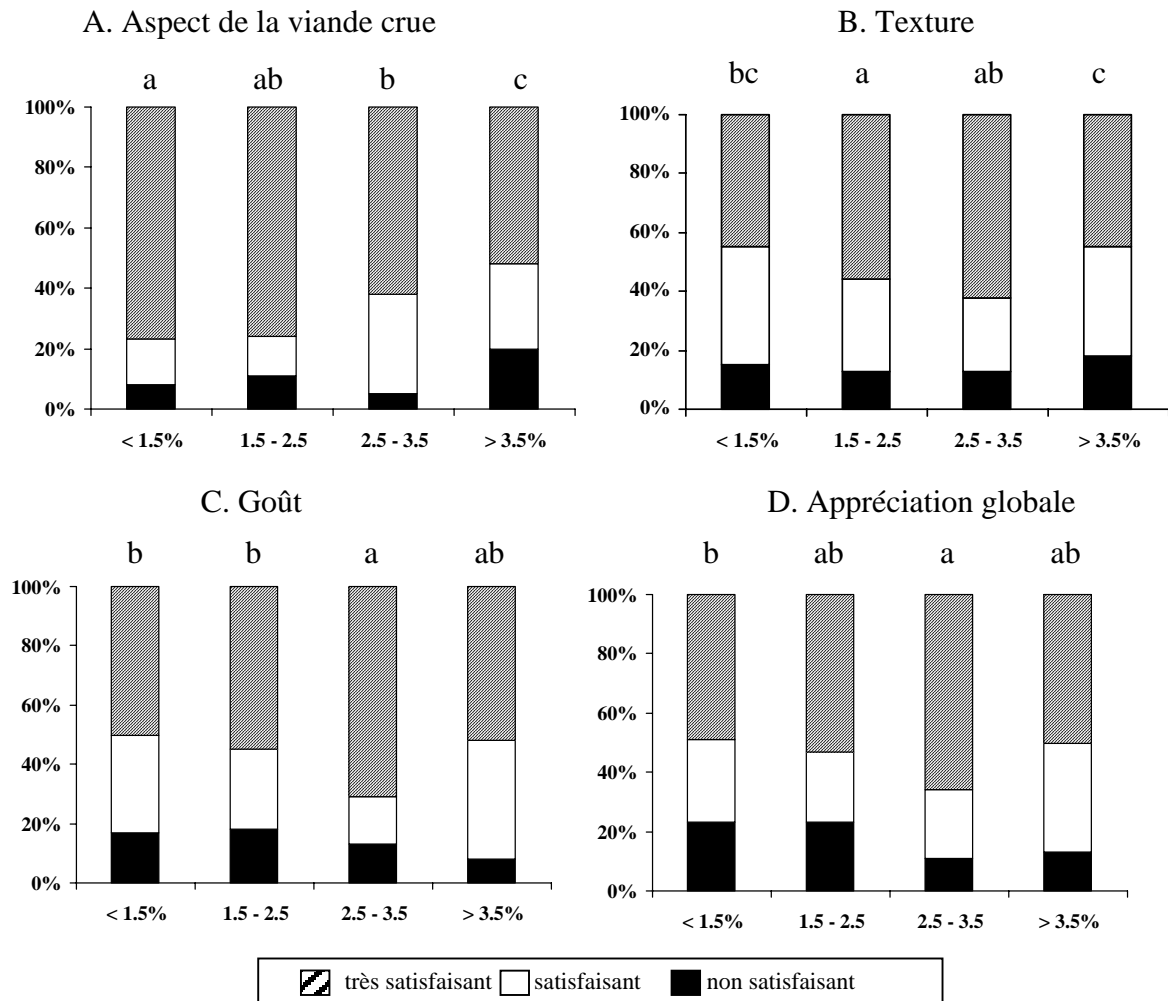
Comme tout produit alimentaire, la qualité de la viande de porc regroupe plusieurs composantes : sanitaire, nutritionnelle ou diététique, sensorielle, technologique, et, parfois, qualité d'image. Si on s'intéresse en particulier à la qualité sensorielle, on va distinguer différentes composantes (d'après Lebret et al., 1999) : l'aspect visuel, la tendreté, la jutosité et la flaveur.

- Aspect visuel : le consommateur recherche en général une viande ni trop pâle, ni trop foncée, et de couleur homogène. La couleur dépend de la quantité de myoglobine, liée au pourcentage de fibres rouges, de l'état chimique de ce pigment, ainsi que de la structure du muscle réfléchissant la lumière. L'abaissement du pH augmente la quantité d'eau extracellulaire et, en conséquence, la réflexion de la lumière incidente. Ainsi, les viandes à bas pH apparaissent claires (Offer et al., 1989). Les tissus adipeux intermusculaire (marbré) et intramusculaire (persillé) influencent également l'acceptabilité de la viande par le consommateur qui n'apprécie pas une quantité trop importante de gras visible (Faucitano et Wegner, 2006), même si la teneur en lipides intramusculaires améliore les autres composantes de la qualité organoleptique (Tableau 1). Une étude réalisée par Fernandez et al. (1999a,b) confirme ce paradoxe : les consommateurs ne souhaitent pas voir de gras dans la viande avant consommation, alors que l'appréciation de la viande après consommation augmente avec le taux de lipides intramusculaires jusqu'à une teneur en lipides comprise entre 2,5 et 3,5% (Figure 1).

**Tableau 1** : corrélations phénotypiques simples entre la teneur en lipides intramusculaires et certaines composantes de la qualité organoleptique de la viande de porc.

Etude	Force de cisaillement	Tendreté	Jutosité	Flaveur	Acceptabilité globale
Cromwell et al. (1978)	-0,28	0,17	0,50	0,10	0,31
Wood et al. (1986)	---	0,13	0,31	0,17	0,22
De Vol et al. (1988)	-0,29**	0,32***	0,21*	0,23*	---
Ramsey et al. (1990)	-0,24*	---	---	---	---
Hodgson et al. (1991)	-0,48**	---	0,65**	---	0,51**
Eikelenboom et al. (1996b)	0,01	0,30	0,33*	0,30	---
Wood et al. (1996)	---	0,09	0,36	0,22	0,24
Huff-Lonergan et al. (2002)	---	0,19***	0,05	0,23***	---
Fortin et al. (2005)	-0,41***	--	0,17	0,24*	---

**Figure 1.** Influence de la teneur en lipides du muscle Long dorsal sur l'acceptabilité de la viande par les consommateurs (d'après Fernandez et al., 1999a). Des lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0,05$ ) dans la répartition des réponses.



- La tendreté, ou facilité de mastication de la viande, dépend de la durée de maturation, du pH et de la rétention d'eau dans la structure myofibrillaire, de la microstructure du muscle (longueur des sarcomères, diamètre des fibres musculaires...), et des teneur, répartition, et degré de polymérisation du collagène musculaire (Lepetit et Culioli, 1994). Chez le porc, la composante myofibrillaire joue un rôle prépondérant dans la détermination de la tendreté de la viande fraîche, alors que l'on considère généralement que la composante collagénique est peu impliquée dans ce phénomène en raison de l'âge relativement jeune des animaux à l'abattage. Les propriétés des myofibrilles dépendent essentiellement de l'évolution post-mortem du pH et des réactions protéolytiques intervenant pendant la maturation (Valin et al., 1988 ; Monin et al., 2003). Les travaux de Minelli et al. (1995) et Monin et al. (1999) montrent que la vitesse de chute du pH constitue le principal déterminant de la résistance myofibrillaire et de la dureté de la viande de porc, le pH ultime ayant un effet moins important. Toutefois ces résultats ont été obtenus en comparant des porcs de différents génotypes au locus halothane. A l'inverse, Ryu et Kim (2005) et Gondret et al. (2006) rapportent une corrélation significative positive entre le pH ultime et la tendreté sensorielle de la viande, et une absence de corrélation entre le pH1 et la tendreté. Par ailleurs, la tendreté augmente avec la durée de conditionnement de la viande (Minelli et al., 1995 ; Wood et al., 1996;

Vautier et al., 2005). Plusieurs travaux ont montré une amélioration de la tendreté sensorielle de la viande de porc (Touraille et al., 1989 ; De Vol et al., 1988; Huff-Lonergan et al., 2002) ou une diminution de la force de cisaillement (Ramsey et al., 1990 ; Hodgson et al., 1991 ; Fortin et al., 2005) avec l'augmentation de la teneur en lipides intramusculaires, même si cette relation n'est pas toujours très marquée (Tableau 1). La valeur de cette corrélation dépend bien sûr de la valeur moyenne et de l'étendue des teneurs en lipides intramusculaires considérées dans les différentes études. Enfin, plusieurs études signalent une liaison négative entre le diamètre des fibres musculaires et la tendreté (Carpenter et al., 1963 ; Gondret et al., 2006).

- La jutosité, ou impression de libération de jus par la viande ressentie au cours de la mastication, est liée à la quantité d'eau libre subsistante dans la viande et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les lipides (Girard et al., 1988). Elle varie avec le pouvoir de rétention d'eau (PRE) de la viande, les pertes à la cuisson et la présence de lipides. L'évolution post-mortem du pH, qui influence fortement le PRE et les pertes à la cuisson (Schäfer et al., 2002 ; Monin 2003) joue un rôle important dans la détermination de la jutosité de la viande. Eikelenboom et al. (1996a) évaluent à 0,68 ( $P < 0,05$ ) le coefficient de corrélation entre le pHu et la jutosité de la viande, alors que Huff-Lonergan et al. (2002) rapportent une valeur plus faible (0,17 ;  $P < 0,001$ ). De nombreux travaux montrent que les lipides intramusculaires influencent favorablement la jutosité de la viande (DeVol et al., 1988 ; Touraille et al., 1989 ; Hodgson et al., 1991 ; Eikelenboom et al., 1996b) (Tableau 1), alors que Huff-Lonergan et al. (2002) et Fortin et al. (2005) rapportent une corrélation faible et non significative entre le taux de lipides intramusculaires et la jutosité.
- La saveur correspond aux perceptions olfactives et gustatives lors de la dégustation. Elle résulte de la production de composés volatils de faible poids moléculaires issus de la dégradation des lipides (lipolyse, oxydation) ou des réactions de Maillard entre acides aminés et sucres réducteurs, ces dernières pouvant être influencées par les phospholipides présents (Gandemer 1998). L'intensité de saveur de la viande dépend donc en grande partie de la composante lipidique (De Vol et al., 1988, Touraille et al., 1989 ; Huff-Nonergan et al., 2002), une teneur de 2,5 à 3,0 % dans le muscle Long dorsal de porc apparaissant optimale pour l'obtention de caractéristiques sensorielles favorables (De Vol et al., 1988, Fernandez et al., 1999a). Parmi la composante lipidique, un rôle important est attribué aux phospholipides dans le développement de la saveur caractéristique de la viande cuite (Mottram et Edwards, 1983 ; Gandemer, 1998). En conséquence, la typologie d'un muscle peut influencer la saveur de la viande en raison des différences de teneur et de composition en phospholipides selon le type métabolique des muscles (Leseigneur-Meynier et Gandemer 1991). D'autre part, la nature des lipides intramusculaires détermine l'aptitude à la conservation de la viande, en raison de la sensibilité des acides gras polyinsaturés (AGPI) à la peroxydation (rancissement). L'incorporation d'antioxydants (notamment vitamine E) dans l'alimentation des animaux permet de limiter l'oxydation des AGPI et consécutivement le développement de saveurs défavorables (Monahan et al., 1990; Dirinck et de Winne, 1995).

Cette description montre l'importance des critères pHu et taux de lipides intramusculaires dans la détermination des qualités sensorielles et technologiques de la viande de porc. Toutefois, le poids respectif de ces deux critères dans la détermination des différentes composantes de la qualité, n'est pas établi. Plusieurs études ont été menées sur l'influence de différents facteurs de production, notamment le mode d'élevage, la stratégie nutritionnelle (restriction globale ou réduction progressive du rapport protéine/énergie, restriction suivie d'une réalimentation ; nature des lipides alimentaires...), sur les caractéristiques bio-et physico-chimiques des viandes et la qualité sensorielle. Nous disposons ainsi d'un ensemble de données individuelles pour ces différents critères obtenues dans des conditions contrôlées. Une analyse statistique globale de ces données pourrait contribuer à préciser les relations entre les critères biochimiques et physico chimiques mesurés en abattoir et/ou laboratoire et les notes attribuées par les jurys de dégustation sur les différentes composantes de la qualité sensorielle. L'objectif ultime est d'identifier les critères expliquant le mieux les variations de qualité observées et si possible, de proposer des bornes sur ces critères, utilisables pour un contrôle qualité des produits en industrie d'abattage/découpe et transformation, notamment pour les besoins de la filière de production de viande fraîche Label Rouge.

## **1.2. Objectif de l'étude :**

- Collecter l'ensemble des données individuelles disponibles sur des critères de qualité biochimique et/ou physico-chimique, ainsi que des notes attribuées par des jurys de dégustation sur les différentes composantes de la qualité sensorielle de la viande fraîche de porc, ces données ayant été obtenues dans des expériences menées en conditions contrôlées (notamment concernant le statut des animaux pour les gènes à effet majeur sur la qualité, hal et RN).
- Analyser par des outils statistiques les relations entre les critères physico- et bio-chimiques et les notes attribuées par les jurys d'analyse sensorielle (experts), afin de 1) mieux comprendre les relations entre ces différents critères, et 2) hiérarchiser les critères bio ou physicochimiques explicatifs des qualités sensorielles et si possible, proposer pour les principaux d'entre eux, des bornes d'acceptation/rejet permettant in fine de garantir un certain niveau de qualité sensorielle aux viandes.

## **2. Matériel et Méthodes**

### **2.1. Constitution de la base de données**

Nous avons recherché dans la bibliographie récente les études concernant la qualité sensorielle de la viande de porc (tests par des jurys entraînés) et incluant des résultats de composition biochimique et de critères de qualité de viande. Cette base de donnée devait être constituée à partir d'études dont les résultats bruts (données individuelles) étaient disponibles via le réseau d'ingénieurs de l'INRA. Les indications et critères minimaux pour que ces études puissent être incluses dans la base de données étaient les suivants :

- Description précise :
  - o des animaux utilisés (type génétique, sexe),
  - o des conditions de production : alimentation (niveau alimentaire/nature du régime) et du type de logement,
  - o de la répartition des animaux correspondant aux différentes modalités testées dans l'étude,
  - o des méthodes de laboratoire mises en œuvre (notamment pour le taux de lipides intramusculaires et la détermination du pH1),

- des conditions de prélèvement, maturation, conservation, puis cuisson de la viande (longe, sous forme de rôti ou de côte grillée) pour analyse sensorielle.
- Données individuelles, à minima :
  - poids de carcasse chaude,
  - teneur en lipides intramusculaires du muscle Long dorsal (et méthode de dosage),
  - pH ultime,
  - note (moyenne des notes des jurés) de « tendreté », « jutosité », « flaveur globale », « flaveur typique » (ou « flaveur de porc »).
- Si possible, données individuelles :
  - pH1, avec méthode de détermination (directe ou après broyage dans un tampon) et durée de l'intervalle saignée – mesure (ou prélèvement),
  - Teneur en Viande Maigre,
  - âge à l'abattage.

Au final, les résultats de dix expériences publiées, représentant 508 individus au total, ont été retenus pour constituer la base de données. Ces différentes expériences (nombre d'animaux, facteurs testés, nombre de groupes, génotype, sexe... et références bibliographiques) sont décrites dans le Tableau 3.

Les notes d'analyse sensorielle étaient établies sur une échelle de 0 à 10, sauf pour les expériences 6, 7, 8 et 10 (notes de 0 à 7). Les données sensorielles de ces 4 études ont donc été ramenées à une note sur 10 dans la base de données finale.

Brièvement, chaque expérience incluait un nombre d'animaux compris entre 30 et 91. Les facteurs testés étaient : le mode d'élevage (litière avec courette extérieure vs caillebotis), la stratégie alimentaire (restriction globale ou restriction des apports en protéines relativement à l'énergie au cours de la croissance, ou restriction suivie d'une réalimentation ad libitum, vs alimentation à volonté), la nature des lipides alimentaires (nature des acides gras au sein de régimes isoénergétiques et isolipidiques), le poids de naissance, le poids d'abattage, la classe de teneur en lipides de la longe. Dans certains cas, ces facteurs étaient testés en interaction avec le génotype des animaux.

Les animaux étaient issus de croisements lignée synthétique (P76) X (Large White X Landrace), Duroc X (Large White X Landrace), Piétrain NN X (Large White X Landrace), Duroc X Landrace, Tia Meslan X Landrace, ou de race pure (Duroc, Large White ou Landrace). Selon les études, deux sexes (mâles castrés et femelles) ou un seul sexe (mâles castrés le plus fréquemment) étaient représentés.

Il est à noter que sur l'ensemble des données, comme en intra-expérience, la variabilité de la teneur en lipides intramusculaires (LIM) est plus forte alors que celle du pH ultime reste faible en comparaison des distributions relevées pour ces mesures en conditions industrielles (Tableau 2).

**Tableau 2 :** moyennes et écart-type des mesures de pH1, pHu et LIM dans différentes études

	LIM	pH1	pHu
Base de donnée étude	2.06 (0.88)	6.16 (0.25)	5.53 (0.14)
Mesures en conditions industrielles	1.43 (0.42)*	6.38 (0.24)**	5.74 (0.21)**

\* : 90 porcs, génétique mâle lw\*P(50%) + P\*D (50%) (Vautier et al., 2005)

\*\* : 2726 porcs, mise à jeun contrôlée (24h), 2 h de repos à l'abattoir (Minvielle et al., 2003 + Vautier et al., 2004)

Ceci s'explique par le fait que les protocoles expérimentaux des études utilisées étaient le plus souvent construits de façon à minimiser la variabilité du pHu intra-expérience (par une maîtrise des conditions de pré-abattage et d'abattage). De plus, certaines études étaient construites dans le but de modifier entre groupes expérimentaux le taux de LIM (expériences 3, 4, 6, 7, 8).

## **2.2. Analyses statistiques des données :**

Dans un premier temps, les données biochimiques (LIM), physico-chimiques (pH1, pHu) et de qualité sensorielle (tendreté, jutosité, flaveur globale et flaveur typique) ont été analysées par analyse de variance sur l'ensemble des données. Des données complémentaires ont pu être prises en compte (pH1, type de présentation de la viande) lors d'une analyse par sous-population, de manière à affiner le modèle.

Une première analyse de variance a été réalisée en regroupant les données disponibles sur l'ensemble des études (procédure GLM, SAS), en incluant dans le modèle statistique les effets de l'expérience et du lot intra expérience ainsi que le pHu, le taux de LIM et le poids de carcasse chaude comme covariables.

Le pH1 a été mesuré dans certaines expériences, cependant les délais abattage - mesure varient entre expériences, ce qui pose un problème pour leur comparaison. Pour tenir compte de ces différences, deux sous-groupes d'expériences ont été formés. Le premier groupe concerne les expériences 1, 2, 3 et 5 pour lesquels le délai abattage-mesure est inférieur à 30 minutes. Pour ce groupe, les données de pH1 ont été rapportées à une mesure théorique à 25 minutes en considérant une variation linéaire du pH entre 20 et 30 minutes post mortem (0.02 unités pH/minute ; ITP, 2000). Une analyse de variance a été réalisée sur les données de cette sous-population en utilisant la procédure GLM de SAS selon le même modèle que précédemment avec le pH1 corrigé comme covariable supplémentaire.

Le second sous-groupe est constitué par les expériences 4, 6 et 7 dont l'intervalle entre l'abattage et la mesure se situe entre 40 et 45 minutes (l'expérience 8 présente un délai d'environ 1h et est donc exclue). Le même traitement statistique a été réalisé pour cette seconde sous-population, en utilisant cette fois les valeurs brutes de pH1.

Enfin, deux types de produits : rôtis ou côtes grillées, selon les expériences ont été testés en analyses sensorielles. Une dernière analyse de variance a été réalisée en groupant d'une part les expériences pour lesquelles l'analyse sensorielle a été réalisée sur côte, et d'autre part les expériences avec analyse sensorielle sur rôti, de manière à valider le modèle pour chaque type de présentation de viande. Le modèle statistique retenu était celui de l'analyse de variance sur l'ensemble des études.

Dans un second temps, une analyse de régression multiple (procédure REG, option STEPWISE sous SAS) a été effectuée afin d'évaluer la contribution relative des critères bio-physico-chimiques aux notes de qualité sensorielle. Le fort effet de l'expérience mis en évidence lors de l'analyse de variance nous empêchant d'appliquer ce traitement statistique à l'ensemble des données, cette analyse a été réalisée en intra-expérience en incluant le pHu, le taux de LIM, le poids de carcasse chaude et le pH1 (brut ou corrigé). Les paramètres retenus (seuil de signification :  $P < 0.10$ ) ont été classés par ordre décroissant de leur contribution au modèle.

## **3. Résultats**

### **3.1. Identification des variables explicatives de la qualité sensorielle :**

La description des protocoles expérimentaux ainsi que des variables enregistrées dans les 10 expériences retenues dans cette étude est réalisée dans les tableaux 3 et 4. Les résultats de l'analyse de variance effectuée sur l'ensemble des données sont présentés au tableau 5.

**Tableau 3** : description des expériences utilisées dans l'analyse globale.

N° exp.	Références bibliographiques	Nb animaux	Facteurs testés / nb groupes	Génotype(s)	Sexe(s)
1	Lebret et al., 2006 a	67	Mode d'élevage : litière-courette vs caillebotis 2 groupes	Croisés P76 X (Large White X Landrace)	MC et F
2	Lebret et al., 2006 b	39	Mode d'élevage : litière-courette vs caillebotis en interaction avec type génétique (2 X 2) 4 groupes	Croisés P76 X (Large White X Landrace) et Croisés Duroc X (Large White X Landrace)	MC et F
3	Heyer et Lebret, 2006	82	Stratégie alimentaire : restriction (35%, 30-70kg PV) puis réalimentation (70-110 kg PV) vs à volonté (30-110 kg PV) 2 groupes	Croisés Duroc X (Large White X Landrace)	MC et F
4	Lebret et al., 2001	50	Stratégie alimentaire : restriction globale (25%, 30-110 kg PV) ou réduction apports protéines/énergie (30-110 kg PV) vs à volonté (30-110 kg PV), chez deux génotypes 6 groupes	Croisés P76 X (Large White X Landrace) et Croisés Duroc X (Large White X Landrace)	MC et F
5	Gondret et al., 2006	30	Poids à la naissance faible (1,05±0,04 kg) vs élevé (1,89±0,02 kg) 2 groupes	Croisés Piétrain (NN) X (Large White X Landrace)	F
6	Fernandez et al., 1999	32	Teneur en lipides intramusculaires dans le muscle Longissimus (≤1,5% ; 1,5-2,5% ; 2,5-3,5% ; > 3,5%) 4 groupes	Croisés Duroc X Landrace	MC
7	Fernandez et al., 1999	32	Teneur en lipides intramusculaires dans le muscle Longissimus (1,25-1,75% ; 1,75-2,25% ; 2,25-2,75% ; 2,75-3,25%) 4 groupes	Tia Meslan X Landrace	MC
8	Candek-Potokar et al., 1998	91	Interaction stratégie alimentaire et poids d'abattage : 30% restriction globale de 30 à 100 ou 130 kg vs à volonté de 30 à 100 ou 130 kg 4 groupes	Croisés Duroc X (Large White X Landrace) [Origine : Slovénie]	MC
9	Mourot et al., 2004	23	Nature des lipides alimentaires (taux AG $\square$ 3, régimes isoénergétiques et isolipidiques): huile coprah, huile tournesol, huile colza, graines lin extrudées 4 groupes	Croisés Piétrain (NN) X (Large White X Landrace)	MC
10	Candek-Potokar et al., 1997	62	Effet du poids d'abattage (100 vs 130 kg) chez 3 génotypes de porcs 6 groupes	Races pures Duroc, Landrace et Large White [Origine : Slovénie]	MC

**Tableau 4** : Valeurs moyennes  $\pm$  écart-type des variables considérées dans le modèle, pour chaque expérience. Les mesures physico-chimiques, biochimiques et sensorielles concernent le muscle Longissimus.

N° exp	Age abat. (j.)	Pds carc. (kg)	TVM (%) [ou % muscle]	pH1 <sup>a</sup>	pHu	LIM (%)	Produit testé	Lab. senso. <sup>b</sup>	Tendreté	Jutosité	Flaveur globale	Flaveur typique
1	156 $\pm 7$	90.8 $\pm 5.9$	60.7 $\pm 3.6$	6.33 $\pm 0.21$ (25 min)	5.49 $\pm 0.20$	1.54 $\pm 0.42$	Côte	1	5.4 $\pm 0.7$	3.5 $\pm 0.7$		5.5 $\pm 0.7$
2	159 $\pm 6$	92.8 $\pm 5.8$	59.9 $\pm 2.8$	6.37 $\pm 0.18$ (25 min)	5.43 $\pm 0.09$	1.83 $\pm 0.45$	Côte	1	5.2 $\pm 0.7$	3.4 $\pm 0.7$		5. 4 $\pm 0.5$
3	163 $\pm 13$	90.0 $\pm 2.6$	58. 7 $\pm 2.7$	5.97 $\pm 0.15$ (25 min)	5.55 $\pm 0.10$	2.46 $\pm 0.92$	Rôti	2	4.4 $\pm 0.6$	3.3 $\pm 0.5$	4.8 $\pm 0.4$	4.4 $\pm 0.4$
4	185 $\pm 17$	85.7 $\pm 2.5$	59.5 $\pm 2.9$	6.41 $\pm 0.20$ (45 min)	5.49 $\pm 0.08$	1.61 $\pm 0.51$	Rôti	2	4.9 $\pm 0.8$	3.8 $\pm 0.8$	5.2 $\pm 0.5$	
5	165 $\pm 11$	89.9 $\pm 2.6$	62.1 $\pm 1.6$	6.02 $\pm 0.14$ (25 min)	5.48 $\pm 0.07$	1.50 $\pm 0.36$	Rôti	2	4.3 $\pm 0.6$	2.9 $\pm 0.5$	5.4 $\pm 0.6$	4.8 $\pm 0.5$
6		88.0 $\pm 6.8$	49.0 $\pm 2.7$ (%muscle)	6.45 $\pm 0.07$ (40 min)	5.57 $\pm 0.10$	2.61 $\pm 1.10$	Rôti	3	6.0 $\pm 0.7$	4.6 $\pm 0.7$	6.4 $\pm 0.4$	5.5 $\pm 0.5$
7		83.0 $\pm 18.4$	52.7 $\pm 1.2$ (%muscle)	6.38 $\pm 0.23$ (40 min)	5.55 $\pm 0.08$	1.34 $\pm 0.02$	Rôti	3	6.1 $\pm 1.1$	4.9 $\pm 1.1$	6.3 $\pm 0.8$	5.7 $\pm 0.9$
8	200 $\pm 31$	91.1 $\pm 13.1$	49.7 $\pm 2.6$ (%muscle)	5.99 $\pm 0.38$ (60 min)	5.57 $\pm 0.13$	2.35 $\pm 0.79$	Rôti	4	7.6 $\pm 0.7$	7.2 $\pm 0.5$	7.4 $\pm 0.4$	
9	155 $\pm 9$	84.2 $\pm 3.3$	63.0 $\pm 2.6$		5.55 $\pm 0.21$	2.18 $\pm 0.59$	Rôti	2	4.3 $\pm 0.7$	3.3 $\pm 0.5$	4.9 $\pm 0.5$	4.7 $\pm 0.5$
9							Côte	2	4.3 $\pm 0.6$	4.0 $\pm 0.6$	4.7 $\pm 0.5$	4.4 $\pm 0.5$
10	220 $\pm 30$	91.2 $\pm 14.7$			5.52 $\pm 0.13$	2.15 $\pm 1.20$	Rôti	4	7.4 $\pm 0.8$	7.1 $\pm 0.6$	7.6 $\pm 0.5$	

<sup>a</sup> pH1 à 25 minutes (expériences 1, 2, 3, 5) : valeur estimée d'après pH1 25 min = pH1 mesuré - 0.02 \* (25 - « délai abattage - mesure »)

pH1 à 40, 45 et 60 minutes : valeur mesurée au temps indiqué

<sup>b</sup> Laboratoire analyse sensorielle : 1 = INRA Theix, 2 = INRA Le Magneraud, 3 = ADIV Clermont-Ferrand, 4 = Institut d'Agriculture, Slovénie

Les coefficients de détermination ( $R^2$ ) très élevés pour les composantes jutosité, flaveur globale et tendreté (tableau 5) montrent la validité du modèle d'analyse pour ces trois composantes, alors que ce coefficient est plus faible pour la composante flaveur typique. Le nombre plus faible de données disponibles peut expliquer en partie ce dernier résultat.

L'effet de l'expérience en tant que variable explicative est hautement significatif ( $P < 0.001$ ) pour chacune des composantes. Ceci provient du fait que derrière le critère « expérience » se retrouve une variabilité très importante des conditions d'enregistrement des données d'analyse sensorielle : effet du type génétique, de la nature du laboratoire d'analyse sensorielle, de la présentation de l'échantillon et du traitement réalisé pour l'analyse (mode de conservation et de cuisson, pertes en eau lors de ces étapes), étalement dans le temps de ces 10 expériences (de 1998 à 2006), etc... L'effet lot intra-expérience s'avère significatif pour la jutosité, mais pas pour les autres composantes.

Parmi les variables bio- et physico-chimiques, le taux de LIM influence très significativement la tendreté et la flaveur globale ( $P < 0.001$ ), ainsi que la jutosité et la flaveur typique ( $P < 0.01$ ). A l'inverse, le pHu tend à influencer la note de jutosité ( $P < 0.10$ ), et n'a aucun effet

significatif sur la tendreté, la flaveur globale ou la flaveur typique. La variable poids de carcasse chaude influence la tendreté ( $P < 0.01$ ) et la flaveur typique ( $P < 0.05$ ), mais n'a pas d'effet significatif sur la jutosité ni la flaveur globale.

**Tableau 5:** recherche des variables explicatives des qualités sensorielles : résultats de l'analyse de variance sur l'ensemble des données disponibles.

Paramètres	Moy.	ETR	n	R <sup>2</sup>	Signification statistique				
					Expérience	Lot(expérience)	pHu	LIM (%)	Poids de carcasse (kg)
Tendreté	5.82	0.73	496	0.76	***	ns	ns	**	**
Jutosité	4.74	0.62	496	0.89	***	*	†	**	ns
Flaveur globale	6.20	0.45	393	0.87	***	ns	ns	***	ns
Flaveur typique	5.07	0.55	293	0.53	***	ns	ns	**	*

ETR : écart-type résiduel

n : nombre de données

R<sup>2</sup> : coefficient de détermination

Signification statistique : \*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $P < 0.010$ , \* :  $P < 0.05$ , † :  $P < 0.10$ , ns :  $P > 0.10$ .

L'introduction du pH1 corrigé dans le modèle réduit le coefficient de détermination pour les 4 composantes, en particulier pour la jutosité, vraisemblablement en raison de l'effectif plus faible de cette sous-population (Tableau 6a). Dans ce modèle, l'expérience et le taux de LIM ont toujours un effet significatif sur la détermination des notes de qualité sensorielle, ainsi que le poids de carcasse pour la flaveur globale et la flaveur typique. Par contre, le pH1 corrigé ne montre pas d'effet significatif sur la détermination des notes de qualité sensorielle, seulement une tendance à influencer la tendreté et la flaveur typique ( $P < 0.10$ ). L'effet du pHu est similaire à celui observé dans le modèle global, avec une tendance sur la jutosité mais pas d'effet significatif sur les autres composantes sensorielles.

L'introduction du pH1 mesuré réduit également les coefficients de détermination du modèle comparativement au modèle général, probablement en raison du faible effectif (Tableau 6b). L'effet du pH1 mesuré est non significatif pour chacune des composantes sensorielles. Dans ce modèle, l'effet de l'expérience reste très significatif (sauf pour la flaveur typique) alors que ceux du taux de LIM et du poids de carcasse chaude ne sont plus (ou pas) significatifs. L'effet du pHu reste non significatif. L'introduction du pH1 corrigé ou mesuré ne permet donc pas d'améliorer la précision du modèle, ni d'identifier une variable explicative supplémentaire pour aucune des quatre composantes de qualité sensorielle considérées.

**Tableau 6 :** recherche des variables explicatives – prise en compte du pH1

a. résultats de l'analyse de variance après introduction du pH1 corrigé (expériences 1, 2, 3 et 5)										
Paramètres	Moyenne	ETR	n	R <sup>2</sup>	Signification statistique					
					Expérience	Paramètres	Moyenne	ETR	n	R <sup>2</sup>
Tendreté	4.85	0.62	208	0.43	***	ns	ns	***	†	ns
Jutosité	3.32	0.55	208	0.26	***	†	†	***	ns	ns
Flaveur globale	5.00	0.40	105	0.39	***	ns	ns	*	ns	**
Flaveur typique	4.96	0.49	208	0.57	***	†	ns	**	†	**

<b>b. résultats de l'analyse de variance après introduction du pH1 mesuré (expériences 4, 6 et 7)</b>										
Paramètres	Moyenne	ETR	n	R <sup>2</sup>	Signification statistique					
					Expérience	Lot(expérience)	pHu	LIM	pH1 mesuré	Poids de carcasse chaude
Tendreté	5.57	0.87	114	0.38	***	ns	ns	ns	ns	ns
Jutosité	4.32	0.83	114	0.35	***	ns	ns	ns	ns	ns
Flaveur globale	5.87	0.51	114	0.62	***	*	ns	ns	ns	ns
Flaveur typique	5.58	0.73	64	0.21	ns	ns	ns	†	ns	ns

ETR : écart-type résiduel

n : nombre de données

R<sup>2</sup> : coefficient de détermination

Signification statistique : \*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $P < 0.010$ , \* :  $P < 0.05$ , † :  $P < 0.10$ , ns :  $P > 0.10$ .

L'analyse par type de présentation de viande (côte ou rôti, tableau 7) sans prise en compte du pH1 (corrige ou mesuré), montre que pour les rôtis, les coefficients de détermination du modèle sont très élevés et supérieurs au modèle global pour la tendreté, la jutosité et la flaveur globale (mais pas pour la flaveur typique). Ces résultats indiquent également un pouvoir discriminant du modèle basé sur les échantillons de rôtis bien supérieur à la même analyse réalisée sur la sous-population de côtes de porc. En effet, les coefficients de détermination du modèle pour le produit « côte grillée » sont nettement inférieurs à ceux du modèle global en particulier pour la tendreté, la jutosité et la flaveur typique, et dans une moindre mesure pour la flaveur globale. L'expérience montre un effet hautement significatif sur toutes les composantes sensorielles pour les deux types de pièces. Le taux de lipides intramusculaire montre un effet significatif sur l'ensemble des variables sensorielles sur le produit « rôti » contre uniquement un effet significatif pour la tendreté sur le produit « côte », ce qui met encore en avant le meilleur pouvoir discriminant des analyses réalisées sur rôti. Le poids de carcasse influence la tendreté pour les deux types de produits alors que le pH ultime n'est pas identifié comme montrant un effet significatif sur la qualité sensorielle.

**Tableau 7** : recherche des variables explicatives : analyse par type de produit

<b>a. résultats de l'analyse de variance pour le produit « rôti » (expériences 3, 4, 5, 8, 9 et 10)</b>										
Paramètres	Moyenne	ETR	n	R <sup>2</sup>	Signification statistique					
					Expérience	Lot(expérience)	pHu	LIM	Poids de carcasse chaude	
Tendreté	5.93	0.70	329	0.83	***	ns	ns	**	*	
Jutosité	5.14	0.56	329	0.93	***	ns	ns	**	ns	
Flaveur globale	6.17	0.43	329	0.90	***	ns	ns	***	†	
Flaveur typique	4.48	0.39	126	0.31	***	ns	ns	**	ns	

<b>b. résultats de l'analyse de variance pour le produit « côte grillée » (expériences 1, 2, 6, 7 et 9)</b>										
Paramètres	Moyenne	ETR	n	R <sup>2</sup>	Signification statistique					
					Expérience	Lot(expérience)	pHu	LIM	Poids de carcasse chaude	
Tendreté	5.49	0.76	184	0.37	***	ns	ns	*	*	
Jutosité	3.95	0.73	184	0.47	***	†	ns	ns	ns	
Flaveur globale	6.03	0.56	81	0.66	***	ns	ns	ns	ns	
Flaveur typique	5.41	0.64	184	0.30	***	ns	ns	†	†	

Les modèles statistiques expliquant le mieux la variabilité de qualité sensorielle observée sont ceux intégrant les variables expérience, lot intra-expérience, taux de LIM, pHu et poids de carcasse chaude, appliqués à l'ensemble des données, et aux produits « rôtis ».

### 3.2 Contribution des caractéristiques biologiques à la variabilité de qualité sensorielle :

L'analyse de régression multiple visant à déterminer la contribution relative des différentes variables (caractéristiques biologiques) explicatives de la qualité sensorielle n'a pu être réalisée sur l'ensemble des données simultanément, en raison de l'effet hautement significatif de l'expérience dans l'analyse de variance. Des régressions multiples pas à pas ont donc été réalisées pour chaque expérience, en incluant dans le modèle le taux de LIM, le pH1 mesuré ou corrigé (quand disponible), le pHu et le poids de carcasse chaude.

La contribution relative des caractéristiques biologiques à la variabilité de chaque composante sensorielle est indiquée dans le Tableau 8.

Concernant la tendreté, on ne rapporte toujours que une variable explicative par expérience. Une variable biologique a un rôle significatif dans 8 expériences sur 10. Le taux de LIM contribue le plus fortement et le plus significativement (dans 2 expériences), mais à hauteur de 18% maximum de la variabilité de notes de tendreté. Le pH1 et le pHu tendent à contribuer à hauteur de 12 et 13%, respectivement, aux résultats de tendreté. Le poids de carcasse chaude a une contribution significative de maximum 10%, dans deux expériences.

Pour la jutosité, on n'identifie qu'une expérience pour laquelle une variable (différente entre les deux expériences) apporte une contribution significative. Le taux de LIM contribue ainsi plus nettement au modèle ( $R^2=0.40$ ,  $P < 0.001$ ). Les contributions du pH1, du pHu et du poids de carcasse ne sont pas significatives au seuil de 5%.

On observe un effet significatif des variables LIM sur la flaveur globale dans deux expériences sur huit : de 0.09 à 0.18 selon les expériences. Les contributions du pH ultime et du poids de carcasse chaude restent très faibles (3% et 4%, respectivement) et ne correspondent qu'à une tendance en terme statistique ( $P < 0.10$ ).

Concernant la flaveur typique, les variables taux de LIM et/ou pH ultime ont des contributions significatives dans trois expériences sur six, avec une contribution des deux variables dans une expérience. L'effet du taux de LIM est ici aussi le plus marqué ( $R^2$  compris entre 0.08 et 0.29), cependant l'effet du pHu n'est pas négligeable ( $R^2=0.19$ ,  $P < 0.05$ ).

**Tableau 8 :** contribution des caractéristiques biologiques à la variabilité de qualité sensorielle. Résultats des régressions (stepwise) intra-expérience.

Composantes	variable explicative / variance expliquée ( $R^2$ , signification, [n° expérience])			
	Taux de LIM	pH1	pHu	Pds de carcasse
Tendreté	0,18 *** [3]	0,12 † [7]	0,13 † [5]	0,10 * [10]
	0,15 * [2]			0,09 * [4]
	0,05 † [1]			0,03 † [8]
Jutosité	0,40 *** [3]			0,08 † [4]
Flaveur globale	0,18 *** [10]		0,03 † [3]	0,04 † [3]
	0,09 ** [3]			
	0,10 † [10]			
Flaveur typique	0,29 * [9]		0,19 * [9]	
	0,09 * [1]			
	0,08 * [3]			

$R^2$  : coefficient de détermination ; Signification statistique : \*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $P < 0.010$ , \* :  $P < 0.05$ , † :  $P < 0.10$

## 4. Discussion

L'effet significatif du taux de lipides intramusculaires sur les quatre descripteurs sensoriels étudiés ici (tendreté, jutosité, flaveur globale, flaveur typique) mis en évidence lors du traitement de l'ensemble de la base de donnée par analyse de variance confirme le poids important du taux de LIM dans la caractérisation sensorielle. De plus, en intra-expérience, ce taux explique entre 18 et 40% de la variabilité des descripteurs, en fonction de la nature de l'étude et du descripteur. Ces résultats sont en accord avec les données de la bibliographie sur le sujet (Cromwell et al., 1978 ; Wood et al., 1986 ; De Vol et al., 1988 ; Hogson et al., 1991 ; Eikelenboom et al., 1996 ; Wood et al., 1996 ; Huff-Lonergan et al., 2002 ; et Fortin et al., 2005) avec des corrélations comprises entre 0.09 et 0.32 (LIM/tendreté), 0.05 et 0.65 (LIM/jutosité), 0.10 et 0.30 (LIM/flaveur). Cette relation importante entre le taux de LIM et la qualité sensorielle paraît néanmoins logique dans la mesure où certains des protocoles expérimentaux de notre base de données ont pour objectifs d'augmenter la variabilité du taux de lipides intramusculaires, comme le montre les résultats du tableau 2.

Les résultats en analyse de variance et en régression de l'introduction du pH ultime dans le modèle sont par contre assez éloignés de ce qui est fréquemment rapporté dans la bibliographie, à savoir un rôle important du pH ultime dans la qualité sensorielle de la viande, principalement au niveau de sa tendreté et sa jutosité. L'hétérogénéité des conditions expérimentales a probablement une part de responsabilité dans les résultats obtenus ici, et les protocoles expérimentaux tendant à homogénéiser la qualité technologique des échantillons ont également pu contribuer à diminuer la variabilité du pH ultime ( $5.53 \pm 0.14$  pour la base de données vs  $5.74 \pm 0.21$  pour des mesures observées en conditions industrielles, tableau 2). En effet, Eikelenboom et al. (1996) mettent en évidence des corrélations fortes entre pHu et qualité sensorielle, compris entre 0.68 et 0.78 pour la jutosité et la tendreté respectivement, dans une étude où le pHu variait de 5.42 à 6.25. Des résultats allant dans ce sens ont été publiés par Huff-Lonergan et al. en 2002 (corrélation pHu/tendreté = 0.27, corrélation pHu/jutosité = 0.17), Hamilton et al. en 2003 (corrélation pHu/tendreté = 0.13, corrélation pHu/jutosité = 0.21) et Monin et al. en 1999 (corrélation pHu/dureté initiale = 0.14, corrélation pHu/dureté résiduelle = 0.13). Ces derniers travaux ont été réalisés sur des populations dont la variabilité du pH ultime (Huff-Lonergan et al., 2002:  $5.78 \pm 0.17$ , Hamilton et al., 2003 :  $5.58 \pm 0.21$ ) était supérieure à celle de notre base de données.

Par ailleurs, il est à noter qu'à l'inverse des résultats d'Eikelenboom et al. (1996, corrélation pHu/flaveur = 0.02), les travaux de Dransfield et al. (1985) rapportent que la flaveur de la viande est expliquée à 47% par un modèle quadratique basé sur le pH ultime. Les résultats de cette dernière étude sont en accord avec une étude de notre base de données où il est mis en évidence une corrélation faible mais significative ( $r = 0.19$ ) entre le pH ultime et la flaveur. Selon Dransfield et al. (1985), la plus forte capacité de rétention en eau des viandes à haut pH augmente la quantité d'eau libre et entraîne une disponibilité supérieure des précurseurs de flaveur lors de la cuisson.

La contribution du pH1 à la caractérisation sensorielle n'est pas significative ici alors que cette mesure explique une part importante de la variabilité des résultats de dureté initiale et de dureté résiduelle selon Monin et al. (1999) (corrélation pH1/dureté initiale = 0.63 ; corrélation pH1/dureté résiduelle = 0.65). De même, l'aspect exsudatif des viandes que la mesure du pH1 estime en partie, montre dans les travaux de Hovenier et al. (1993) une corrélation significative avec la tendreté ( $r = 0.30$ ).

L'effet hautement significatif de l'expérience relevé lors du traitement en analyse de variance met en évidence une forte hétérogénéité dans les conditions de récolte des données entre les 10 expériences. Cette variabilité peut être attribuée à des différences, notamment au niveau des types génétiques utilisés, du laboratoire d'analyse sensorielle, des conditions de prélèvements, du stockage et traitement des échantillons (notamment la durée de

maturation), mais aussi au fait de l'écart de plusieurs années entre la réalisation des différentes études qui a probablement entraîné une modification de la composition du jury expert au sein du même laboratoire, ainsi que les caractéristiques des carcasses pour un type génétique donné.

Ce fort effet de l'expérience permet également d'évoquer le relatif manque de robustesse de la méthode d'estimation de la qualité sensorielle par un jury expert. En effet, les travaux de Hovenier et al. (1993) mettent en évidence une répétabilité de l'estimation de la tendreté par un jury expert qui est relativement faible sur la note globale ( $r = 0.53$ ) pour un jury composé de 20 experts, et pour la note intra-jury ( $r = 0.50$ ). Les conditions de réalisation de ces travaux relèvent une corrélation phénotypique nulle entre le pH ultime et la note de tendreté ce qui n'est toutefois pas le cas dans notre étude bien que cette corrélation ne soit pas significative. Les mêmes relations (corrélation nulle) sont relevées entre le taux de lipides intramusculaires et la note de tendreté malgré une variabilité importante de la teneur en LIM ( $2.3 \pm 1.4$ ). Ces valeurs de corrélations sont peut être à l'origine des faibles répétabilités relevées par Hovenier et al. (1993). A l'inverse, dans des travaux réalisés sur le bœuf, Wheeler et al. (2004) mettent en évidence une répétabilité satisfaisante dans le cas d'un classement sur la tendreté réalisé par un panel de consommateurs naifs ( $r = 0.80$ ). Ces éléments nous permettent de souligner toute la difficulté de produire une caractérisation sensorielle de la viande par un jury composé d'experts, ce qui a peut être participé à la grande variabilité des résultats entre les 10 études composant la base de données.

## 5. Conclusion

Le traitement en analyse de variance des 508 données individuelles de la base a permis de confirmer l'effet significatif du taux de lipides intramusculaires sur les quatre principaux descripteurs de la qualité sensorielle (tendreté, jutosité, flaveur globale, flaveur typique). Cet effet est conforme à de nombreuses études réalisées par le passé sur la qualité sensorielle de la viande de porc, et est confirmé par l'analyse en régression intra-expérience. D'autre part, l'absence d'effet significatif du pH ultime sur la qualité sensorielle à la fois lors du traitement en analyse de variance et en régression intra-expérience (seulement une tendance statistique) est en désaccord avec une proportion conséquente de la bibliographie sur le sujet. De nombreux auteurs ayant mis en évidence des corrélations significatives entre les mesures de pH ultime et la tendreté et jutosité notamment, il se peut que la conception des protocoles expérimentaux des études de notre base de données (objectifs de réduction des écarts de qualité technologique entre lots) soit à l'origine de cette absence de corrélation, comme le montre la variabilité assez réduite des données de pH ultime. Enfin, les données de pH1 montrent une absence d'effet significatif bien que le caractère exsudatif de la viande soit identifié par certains auteurs comme ayant une incidence sur la tendreté. Ces conclusions mettent en avant les problèmes de comparaison d'expériences dont les conditions de réalisation sont assez différentes, la réponse à la question de l'importance relative du pH ultime et du gras intramusculaire devant être abordé ultérieurement dans une étude au protocole expérimental adapté à cet objectif.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier leurs collègues Marjeta Candek-Potokar (Institut d'Agriculture de Slovénie, Ljubljana, Slovénie), Xavier Fernandez (USC INRA - ENSA Toulouse, 31326 Castanet Tolosan), Florence Gondret et Jacques Mourot (INRA UMR SENAH, 35590 Saint-Gilles), qui leur ont gracieusement transmis des données expérimentales utilisées dans cette étude."

## 6. Références bibliographiques

- Candek-Potokar M., Zlender B., Bonneau M., 1998. Effects of breed and slaughter weight on longissimus muscle biochemical traits and sensory quality in pigs. *Annales de Zootechnie*, 47, 3-16.
- Candek-Potokar M., Zlender B., Lefaucheur L., Bonneau M., 1998. Effects of age and/or weight at slaughter on longissimus dorsi muscle : biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat Science*, 48, 287-300.
- Carpenter Z.L., Kauffman R.G., Bray R.W., Briskey E.J., Weckel K.G., 1963. Factors influencing quality in porks A. Histological observations. *Journal of Food Science*, 28, 467-471.
- Cromwell G.L., Hays V.W., Trujillo-Figueroa V., Kemp J.D., 1978. Effects of dietary protein and energy levels for growing-finishing swine on performance, muscle composition and eating quality of pork. *Journal of Animal Science*, 47, 505-513.
- De Vol D.L., McKeith F.K., Bechtel P.J., Novakofski F.K., Shanks R.D., Carr T.R., 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *Journal of Animal Science*, 66, 385-395.
- Dirinck P., de Winne A., 1995. Effet des taux élevés de supplémentation en vitamine E sur la qualité sensorielle des viandes de porc. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 27, 323-328.
- Eikelenboom G., Hoving-Bolink A.H., Van der Wal P.G. 1996a. The eating quality of pork. 1. Influence of ultimate pH. *Fleischwirtschaft*, 76, 392-393.
- Eikelenboom G., Hoving-Bolink A.H., Van der Wal P.G., 1996b. The eating quality of pork. 2. The influence of intramuscular fat. *Fleischwirtschaft*, 76, 517-518.
- Faucitano L., Wegner J., 2006. Persillé et qualité de la viande de porc. *Journées de la Recherche Porcine*, 38, 313-320.
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., 1999a. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat. 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *M. longissimus lumborum*. *Meat Science*, 53, 59-65.
- Fernandez X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B., 1999b. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat. 1. Consumer acceptability of *M. longissimus lumborum*. *Meat Science*, 53, 67-72.
- Fortin A., Robertson W.M., Tong A.K.W., 2005. The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. *Meat Science*, 69, 297-305.
- Gandemer G., 1998. Lipids and meat quality. Lypolysis, oxidation and flavour. *Proc. 44th International COngress of Meat Science and Technology, Barcelona, Spain*. Pp 106-119.
- Girard J.P., Bout J., Salort D. 1988. Lipides et qualités du tissu adipeux, facteurs de variation. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 20, 255-278.
- Gondret F., Lefaucheur L., Juin H., Louveau I., Lebret B., 2006. Low birth weight is associated with enlarged muscle fiber area and impaired meat tenderness of the longissimus muscle in pigs. *Journal of Animal Science*, 84, 93-103.
- Hamilton D.N., Miller K.D., Ellis M., McKeith F.K., Wilson E.R. 2003. Relationship between longissimus glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits, and pork quality. *Journal of Animal Science* 81:2206-2212.
- Heyer A., Lebret B., 2006. Compensatory growth response in pigs: effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *Journal of Animal Science*, soumis.
- Hodgson R.R., Davis G.W., Smith G.C., Savell J.W., Cross H.R., 1991. Relationship between pork loin palatability traits and physical characteristics of cooked chops. *Journal of Animal Science*, 69, 4858-4865.
- Hovenier R., Kanis E., Verhoeven J.A.M. 1993. Repeatability of taste panel tenderness scores and their relationships to objective pigs meat quality traits. *Journal of Animal Science*, 71:2018-2025.

- Huff-Lonergan E., Baas T.J., Malek M., Dekkers J.C.M., Prusa K., Rotschild M.F., 2002. Correlations among selected pork quality traits. *Journal of Animal Science*, 80, 617-627.
- ITP. 2000. Mémento de l'éleveur de porc.
- Lebret B., Lefaucheur L., Mourot J., 1999. La qualité de la viande de porc : influence des facteurs d'élevage non génétiques sur les caractéristiques du tissu musculaire. *Productions Animales*, 12, 11-28.
- Lebret B., Juin H., Noblet J., Bonneau M., 2001. The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat quality in pigs. *Animal Science*, 72, 87-94.
- Lebret B., Meunier Salaün M.C., Foury A., Mormède P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006a. Influence of rearing conditions on performance, behavioral and physiological responses of pigs to preslaughter handling, carcass traits and meat quality. *Journal of Animal Science*, in press.
- Lebret B., Meunier Salaün M.C., Foury A., Mormède P., Dransfield E., Dourmad J.Y., 2006b. Effets du mode d'élevage sur les performances, le comportement des animaux et la qualité de la viande chez deux génotypes de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 38, 81-88.
- Lepetit J., Culioli J., 1994. Mechanical properties of meat. *Meat Science*, 36, 203-237.
- Leseigneur-Meynier A., Gandemer G., 1991. Lipid composition of pork muscle in relation to the metabolic type of the fibers. *Meat Science*, 29, 229-241.
- Minelli G., Culioli J., Vignon X., Monin G., 1995. Postmortem changes in the mechanical properties and ultrastructure of the Longissimus in two porcine breeds. *Journal of Muscle Foods*, 6, 313-326.
- Minvielle B., Boulard J., Vautier A., Houix Y. 2003. Viandes déstructurées dans la filière porcine : effets combinés des durées de transport et d'attente sur la fréquence d'apparition du défaut. *Journées de la Recherche Porcine* 35 :263-268.
- Monahan F.J., Buckley D.J., Gray J.I., Morissey P.A., Asghar A., Hanrahan T.J., Lynch P.B., 1990. Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork. *Meat Science*, 27, 99-108.
- Monin G., 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *Productions Animales*, 16, 251-262.
- Monin G., Larzul C., Le Roy P., Culioli J., Mourot J., Rousset-Akrim S., Talmant A., Sellier P., 1999. Effects of the halothane genotype and slaughter weight on texture of pork. *Journal of Animal Science*, 77, 408-415.
- Mottram D.S., Edwards R.A., 1983. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma cooked beef. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 34, 517-522.
- Offer G., Knight P., Jeacocke R., Almond R., Cousins T., Elsey J., Parsons N., Sharp A., Starr R., Purslow P., 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8, 151-170.
- Ramsey C.B., Tribble L.F., Wu C., Lind K.D., 1990. Effect of grains, marbling and sex on pork carcass tenderness and composition. *Journal of Animal Science*, 68, 148-154.
- Ryu Y.C., Kim B.C., 2005. The relationship between muscle fiber characteristics, postmortem metabolic rate and meat quality of pig *longissimus dorsi* muscle. *Meat Science*, 71, 351-357.
- Schäfer A., Rosenvold K., Purslow P.P., Andersen H. J., Henckel P., 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Science*, 61, 355-366.
- Touraille C., Monin G., Legault C., 1989. Eating quality of meat from european X chinese crossbred pigs. *Meat Science*, 25, 177-186.
- Valin C., 1988. Différenciation du tissu musculaire. Conséquences technologiques pour la filière viande. *Reproduction Nutrition Développement*, 28, 845-856.
- Vautier A., Minvielle B., Boulard J., Bouyssière M., Houix Y. 2004. Viandes déstructurées : effets du système d'abattage et des conditions météorologiques. *Techniporc* 27 :19-23.

- Vautier A., Boulard J., Houix Y., Le Roux A., Minvielle B., Bozec A., 2005. Maturation de la viande de porc : Influence sur la texture de longes issues de porcs Label Rouge et Standard. *Techni-Porc*, 28, 17-21.
- Wheeler T.L., Shackelford S.D., Koohmaraie M. 2004. The accuracy and repeatability of untrained laboratory consumer panelists in detecting differences in beef longissimus tenderness. *American Society of Animal Science*. 82:557-562.
- Wilfart A., Ferreira J.M., Mounier A., Robin G., Mourot J., 2004. Effet de différentes teneurs en acides gras n-3 sur les performances de croissance et la qualité nutritionnelle de la viande de porc. *Journées Rech. Porcine*, 36, 195-202.
- Wood J.D., Jones R.C.D., Francombe M.A., Whelehan O.P. 1986. The effects of fat thickness and sex on pig meat quality with special reference to the problems associated with overleanness. 2- Laboratory and trained taste panel results. *Animal Production*, 43, p. 544.
- Wood J.D., Brown S.N., Nute G.R., Whittington F.M., Perry A.M., Johnson S.P., Enser M. 1996. Effects of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork. *Meat Science*, 44, 105-112.