

# Réorientation oxydative dans les muscles de la cuisse en réponse à l'exercice physique chez le lapin

F. GONDRET<sup>1</sup>, P. HERNANDEZ<sup>1\*</sup>, R. EL RAMOUZ<sup>2</sup>,  
F. PONTRUCHER<sup>1</sup>, X. FERNANDEZ<sup>2</sup>, S. COMBES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRA-Agrocampus, UMR Systèmes d'Élevage, Nutrition Animale et Humaine, 35590 Saint-Gilles, France

<sup>2</sup> ENSAT, Lab. de Zootechnie et Qualité des Produits Animaux, BP 107, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

<sup>3</sup> INRA, Station de Recherches Cunicoles, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex, France

\* Adresse actuelle: Departamento de Ciencia Animal, Universidad Politecnica, 46071 Valencia, Espagne

**Résumé** – L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence de sauts répétés lors de la croissance sur le métabolisme musculaire du lapin. Des lapins ont été élevés de 35 à 72 jours, soit en cage individuelle de surface réduite (groupe sédentaire : SED, n = 9), soit en cage collective géante munie de deux obstacles verticaux (groupe exercice : EXE, n = 10). A l'abattage, les activités spécifiques des enzymes de la  $\beta$ -oxydation des acides gras (hydroxyacyl-CoA déshydrogénase, HAD) et de l'oxydation terminale des nutriments (citrate synthase, CS) sont augmentées dans les muscles *semimembranosus proprius* (SMP), *semimembranosus accessorius* (SMa), et *biceps femoris* (BF) des lapins EXE (+21% en moyenne) par rapport aux lapins SED. Cependant, la teneur en lipides des muscles SMa et BF, et le diamètre adipocytaire dans le muscle SMa ne sont pas différents entre les deux lots. Le potentiel glycolytique à l'abattage comme le pH atteint après 24 h de maturation post-mortem dans le muscle BF ne sont pas modifiés par l'exercice physique.

**Abstract – Oxidative orientation in leg muscles in response to physical exercise during growth in rabbits.** The aim of this study was to investigate the effects of repetitive jumps during growth on rabbit muscle metabolism. Rabbits were reared from weaning (35 days) to slaughter (72 days), either in isolated cages with a small space area (sedentary group, SED, n = 9), or in collective giant pens equipped with vertical hurlers in front of feeders and water (exercised group, EXE, n = 10). At slaughter, specific activity levels of enzymes involved in fatty acid  $\beta$ -oxidation (hydroxyacyl-CoA dehydrogenase, HAD) and terminal oxidation (citrate synthase, CS) were higher in *semimembranosus proprius* (SMP), *semimembranosus accessorius* (SMa), and *biceps femoris* (BF) muscles from EXE rabbits (+21% on average) than those from SED rabbits. Lipid contents in SMa and BF muscles and adipocyte diameter in SMa were similar in both groups. In addition, glycolytic potential at slaughter and ultimate pH raised 24 h post-mortem in BF muscle did not vary in response to physical exercise.

## Introduction

Les systèmes d'élevage alternatifs impliquent généralement une augmentation de l'espace alloué aux animaux. Les études rapportent généralement une élévation de la proportion d'arrières dans la carcasse chez les lapins élevés en grand parc (Dal Bosco *et al.*, 2001; Combes *et al.*, 2003) ou en cage double équipée d'une plate-forme (Jehl *et al.*, 2003). Ce changement de conformation des carcasses est souvent attribué à l'augmentation de l'activité locomotrice des animaux dans ce type de logement. Cependant, il existe peu de données concernant l'incidence de l'exercice physique chez le lapin sur les caractéristiques des muscles à l'abattage. Il est bien connu que l'équilibre des voies énergétiques musculaires oxydative et glycolytique et la teneur en glycogène musculaire présente à l'abattage de l'animal, déterminent l'amplitude de chute du pH lors de la transformation post-mortem du muscle en viande. De même, la teneur en lipides intramusculaires lors de l'abattage des animaux influencerait favorablement les caractéristiques sensorielles de la viande (Gondret, 1998 pour revue). En conséquence, notre objectif est d'évaluer les modifications des caractéristiques métaboliques musculaires induites par la pratique régulière du saut chez le lapin en croissance.

L'influence de l'exercice sur la qualité de la carcasse et de la viande est présentée dans un article conjoint (Combes *et al.*, 2005).

## 1. Matériel et Méthodes

### 1.1 Animaux et prélèvements

Le lendemain du sevrage (35 jours), des lapins de souche Hyplus PS 39 x INRA 1067 ont été répartis en 2 lots expérimentaux. Les lapins du groupe sédentaire (SED, n = 9) sont placés individuellement dans des cages de surface réduite (0.10 m<sup>2</sup>), de façon à limiter les possibilités de déplacement. Les lapins du groupe exercice (EXE, n = 10) sont élevés collectivement dans une cage géante (1.32 m<sup>2</sup>), munie de deux obstacles verticaux placés entre les sources d'alimentation et d'abreuvement (Combes *et al.*, 2005). L'ensemble des animaux est abattu à 72 jours d'âge après électroanesthésie, sans mise à jeun préalable. Cinq minutes après la saignée, trois muscles de la cuisse sont prélevés du plus glycolytique au plus oxydatif: le *semimembranosus accessorius* (SMa), le *biceps femoris* (BF), et le *semimembranosus proprius* (SMP). Les échantillons sont congelés dans l'azote liquide, et conservés à -80°C. Le lendemain de l'abattage, le pH ultime est mesuré dans le muscle BF grâce à une électrode à viande reliée à un pH-mètre.

**Tableau 1.** Activités<sup>1</sup> des enzymes du métabolisme énergétique dans les muscles de lapins sédentaires (SED) ou pratiquant un exercice physique (EXE).

	EXE	SED	ETR <sup>2</sup>	lot <sup>3</sup>
<i>Semimembranosus proprius</i>				
HAD	97,5	85,7	8,9	*
CS	222	198	21	*
LDH	1329	1359	241	NS
<i>Semimembranosus accessorius</i>				
HAD	25,9	20,7	5	*
CS	120	102	19	†
LDH	14208	15529	1337	*
<i>Biceps femoris</i>				
HAD	26,5	20,9	4,9	*
CS	115	92	20	*
LDH	12459	11925	1521	NS

<sup>1</sup>Exprimées en nanomoles/minutes et par mg de protéines.

<sup>2</sup>ETR= écart-type résiduel total.

<sup>3</sup>\*  $P < 0,05$ , †  $P = 0,10$ .

### 1.2. Mesures biochimiques et histologiques

Les activités spécifiques de la  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA déshydrogénase (HAD, enzyme clé de la  $\beta$ -oxydation des acides gras), de la citrate synthase (CS, enzyme du cycle de Krebs), et de la lactate déshydrogénase (LDH, enzyme représentative de la glycolyse anaérobie) sont mesurées par spectrophotométrie à partir d'extraits musculaires totaux. Les résultats sont exprimés en unités par mg de protéines, quantité déterminée à l'aide du kit BCA (Pierce, Rockford, IL). La teneur en lipides totaux des muscles SMA et BF est quantifiée après extraction au chloroforme/méthanol (Folch *et al.*, 1957), et exprimée par g de tissu frais. Le diamètre moyen des adipocytes intramusculaires est mesuré sur coupes histologiques de muscle SMA après coloration à l'huile rouge (Gondret *et al.*, 1998). Le potentiel glycolytique musculaire (somme de la teneur en

glycogène et des composés issus de sa dégradation) est calculé dans le muscle BF (Monin et Sellier, 1985).

### 1.3. Analyses statistiques

Les comparaisons de moyennes entre les 2 groupes ont été réalisées en utilisant le test *t* de Student.

## 2. Résultats

### 2.1. Métabolisme énergétique musculaire à l'abattage

Les activités spécifiques des enzymes mitochondriales responsables de l'oxydation des acides gras (HAD) et du catabolisme oxydatif terminal des nutriments (CS) sont augmentées, respectivement de 22% et 18% en moyenne, dans les muscles des lapins du groupe EXE par rapport au groupe SED (Tableau 1). A l'inverse, l'activité de la LDH est diminuée de 9% dans le lot EXE par rapport au lot SED pour le muscle SMA, mais elle ne varie pas dans les deux autres muscles.

**Tableau 2.** Teneur et caractéristiques histologiques des lipides dans les muscles de lapins sédentaires (SED) ou pratiquant un exercice physique (EXE).

	SED	EXE	ETR <sup>1</sup>	lot <sup>2</sup>
<i>Semimembranosus accessorius</i>				
Lipides, g/100 g	1,59	1,86	0,46	NS
Diamètre adipocytaire, $\mu$ m	43,5	44,8	6,4	NS
<i>Biceps femoris</i>				
Lipides, g/100 g	1,87	2,08	0,48	NS

<sup>1</sup>ETR= écart-type résiduel total.

<sup>2</sup>NS :  $P > 0,10$

**Tableau 3.** Potentiel glycolytique et pH ultime du muscle *biceps femoris* chez des lapins sédentaires (SED) ou pratiquant un exercice physique (EXE).

	SED	EXE	ETR <sup>2</sup>	lot <sup>3</sup>
Potentiel glycolytique <sup>1</sup>	93,4	97,5	15,1	NS
pH ultime	5,72	5,73	0,11	NS

<sup>1</sup>Exprimé en micromoles d'équivalent lactate

<sup>2</sup>ETR= écart-type résiduel total.

<sup>3</sup>NS :  $P > 0,10$

## 2.2. Caractéristiques lipidiques des muscles à l'abattage

La teneur en lipides des muscles SMA et BF, muscles importants pour la qualité de la viande du lapin, n'est pas différente entre les lots SED et EXE (Tableau 2). De même, il n'y a pas d'influence de l'exercice physique sur le diamètre des adipocytes présents entre les faisceaux de fibres musculaires dans le SMA.

## 2.3. Potentiel glycolytique et pH ultime

Dans le muscle BF, le potentiel glycolytique à l'abattage et le pH ultime sont identiques dans les deux groupes (tableau 3).

## 3. Discussion

L'équilibre des voies métaboliques musculaires s'établit clairement en faveur d'un métabolisme plus oxydatif dans le lot EXE par rapport au lot SED. Les muscles des lapins EXE présentent ainsi une meilleure aptitude à dégrader les acides gras pour produire l'énergie nécessaire à la contraction dans les fibres musculaires (activité supérieure de la HAD). En accord avec notre étude, des porcs entraînés à courir sur un tapis roulant présentent également une élévation du métabolisme oxydatif musculaire par rapport à leurs congénères sédentaires (McAllister *et al.*, 1997 ; Petersen *et al.*, 1998). Cette adaptation du muscle à mieux oxyder les acides gras suite à la pratique régulière du saut n'entraîne pas de modifications de la teneur en lipides présente dans les muscles des lapins à l'abattage, en accord avec les résultats obtenus chez des porcs soumis à un exercice physique régulier (Petersen *et al.*, 1997). Chez l'Homme, certains auteurs observent cependant une teneur en lipides intramusculaires supérieure dans les muscles des individus entraînés par rapport à ceux ne pratiquant pas d'exercice physique (Gondret *et al.*, 2005 pour revue). Nous montrons également que la répartition cellulaire des lipides intramusculaires n'est pas altérée par la pratique du saut, puisque le diamètre adipocytaire n'est pas modifié entre lapins SED et lapins EXE. A l'inverse, Ducomps (2002) montrait que la surface relative occupée par les adipocytes par rapport à la surface totale du muscle était réduite par la pratique du saut chez le lapin. Nos données suggèrent ainsi que les réserves en triglycérides stockées à l'intérieur même des fibres musculaires (gouttelettes cytoplasmiques) seraient suffisantes pour couvrir les besoins accrus en acides gras des muscles des lapins EXE, et/ou qu'une part importante des acides gras utilisés pour la contraction des fibres lors du saut provient de la circulation sanguine générale.

En raison d'une compétition entre substrats pour la fourniture de l'énergie musculaire, une augmentation de l'utilisation des acides gras pourrait entraîner une épargne des réserves en glycogène musculaire, et par conséquent s'accompagner d'une concentration en glycogène au repos plus élevée chez les individus entraînés par rapport à leurs congénères sédentaires (Essen-Gustavsson *et al.*, 1988 chez le porc). Cependant, Meng et Pierce (1990) observaient une

diminution du glycogène musculaire juste après une course sur tapis roulant chez le lapin. Dans notre étude, nous n'observons pas de différences entre lapins SED et lapins EXE pour le potentiel glycolytique du muscle BF (estimateur des réserves en glycogène présentes dans le muscle avant le stress consécutif à l'abattage) comme pour le pH ultime. Ceci suggère que les stocks de glycogène musculaire n'ont pas été modifiés par la pratique répétée du saut.

## Conclusion

Malgré une modification du métabolisme énergétique musculaire associée à l'exercice physique, il n'y a pas de variations de la teneur en lipides et en glycogène, comme du pH ultime musculaire. Une distinction qualitative des produits issus des élevages alternatifs ne serait donc possible que si l'on modifie d'autres paramètres comme le génotype ou la nutrition.

## Références

- COMBES S., POSTOLLEC G., JEHL N., CAUQUIL L., DARCHE B., 2003. Influence de trois modes de logement des lapins sur la qualité de la viande. *10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 19-20/11/2003, 177-180. ITAVI Ed., Paris.
- COMBES S., MOUSSA F., GONDRET F., DOUTRELOUX JP., REMIGNON H., 2005. Influence de l'exercice (saut) sur les performances de croissance, la qualité des carcasses et la mesure de l'attachement de la viande à l'os après cuisson. *11èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 29-30/11/2005, ITAVI Ed., Paris. Sous presse.
- DAL BOSCO A., CASTELLINI C., MUGNAI C., 2001. Effet du mode d'élevage (cage ou parc) sur l'évolution postmortem du pH et sur les caractères qualitatifs de la viande de lapin. *9èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 28/11-2/12/2001, 35-38. ITAVI Ed., Paris.
- DUCOMPS C., 2002. Adaptations fonctionnelles du muscle squelettique à l'exercice de haute intensité: effets sur le collagène, les propriétés mécaniques passives et la distribution des fibres musculaires. Thèse Université Paul Sabatier Toulouse III.
- ESSEN-GUSTAVSSON B., LUNDSTRÖM K., LARSSON G., LINDHOLM A., NORDIN A.C., HANSSON I., TORNBORG E., 1988. The effect during growth of moderate exercise on muscle metabolic characteristics in vivo and relation to meat quality and sensory properties. *In: Proc. 34th Int. Congress Meat Sci. Tech. (IcoMST)*. 27-30.
- FOLCH J., LEES M., SLOANE-STANLEY H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 266, 497-509.
- GONDRET F., 1998. Lipides intramusculaires et qualité de la viande chez le lapin. *7èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Lyon, 13-14/05/1998. 101-110. ITAVI Ed. Paris.
- GONDRET F., MOUROT J., BONNEAU M., 1998. Comparison of intramuscular adipose tissue cellularity in muscles differing in their lipid content and fibre type composition during rabbit growth. *Livest. Prod. Sci.*, 54, 1-10.
- GONDRET F., COMBES S., LEFAUCHEUR L., LEBRET B., 2005. Effects of exercise during growth and alternative rearing systems on muscle fibers and collagen properties. *Reprod. Nutr. Dev.*, 45, 69-86.
- JEHL N., MEPLAIN E., MIRABITO L., COMBES S., 2003. Incidence de trois modes de logement sur les performances zootechniques et la qualité de la viande de lapin. *10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 19-20/11/2003, 181-184. ITAVI Ed., Paris.

- MENG H, PIERCE G.N., 1990. Metabolic and physiological response of the rabbit to continuous and intermittent treadmill exercise. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 68, 856-862.
- MCALLISTER R.M., REITER B.L., AMANN J.F., LAUGHLIN M.H., 1997. Skeletal muscle biochemical adaptations to exercise training in miniature swine. *J. Appl. Physiol.*, 82, 1862-1868.
- MONIN, G., SELLIER P., 1985. Pork of low technological meat quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post mortem period. The case of the Hampshire pigs. *Meat Sci.*, 13, 49-63.
- PETERSEN J.S., BERGE P., HENCKEL P., SORENSEN M.T., 1997. Collagen characteristics and meat texture of pigs exposed to different levels of physical activity. *J. Muscle Food*, 8, 47-61.
- PETERSEN J.S., HENCKEL P., OKSBJERG N., SORENSEN M.T., 1998. Adaptations in muscle fiber characteristics induced by physical activity in pigs. *Anim. Sci.*, 66, 733-740.