

La préparation du lapin futur reproducteur*

MARTÍNEZ-PAREDES E.¹, SAVIETTO D.², SANTACREU M.A.¹, CERVERA C.¹, PASCUAL J.J.¹

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España

² UMR 1388 Génétique, Physiologie et Systèmes d'Élevages, F-31326 Castanet-Tolosan, France

*La contribution des auteurs fut équitable. Authors contributed equally.

Résumé – Le succès reproductif n'est pas seulement défini par le potentiel génétique que chaque individu hérite de ses parents. Les effets environnementaux et maternels que les mâles et les femelles rencontrent pendant leur développement ont aussi une influence sur celui-ci. L'espace utérin, le site de gestation et le nombre de lapereaux influencent le développement prénatal, le poids de naissance et la survie des lapereaux au début de la lactation. Dans un contexte où la sélection favorise une grande taille de portée et donc une compétition chez les lapereaux, des pratiques comme l'adoption pour réduire la taille des portées et favoriser l'homogénéité du poids entre les lapereaux dans la portée, semblent favoriser un développement correct du lapin futur reproducteur. Une autre recommandation est de s'assurer que les petits ont bien tété avant d'être transférés des centres de sélection vers les élevages professionnels. Peu de travaux ont été consacrés à l'étude des effets des phases de post-sevrage sur le futur succès reproductif. Ici, nous soulignons le besoin d'études pour démêler les conséquences des pratiques de restriction alimentaire sur la future vie reproductive des mâles et des femelles. Beaucoup d'études ont porté sur les pratiques d'alimentation pendant le période d'élevage. Deux stratégies d'alimentation (restriction quantitative ou qualitative) peuvent être utilisées pendant cette phase pour favoriser le développement correct des mâles et femelles tout en évitant un surpoids. En ce qui concerne la période d'élevage des mâles, ses apports nutritionnels doivent être étroitement liés à la saison. En automne, il est recommandé de nourrir les jeunes mâles avec des aliments riches en énergie, alors que pendant le printemps des niveaux plus bas semblent suffisants. Les niveaux de protéines brutes devraient être supérieurs à 15% pendant cette période. L'utilisation des vitamines, d'oligo-éléments et d'acides gras polyinsaturés dans l'aliment du lapin mâle sont aussi commentés. La recommandation la plus importante concernant la préparation alimentaire des jeunes femelles concerne la restriction alimentaire quand des aliments riches en énergie sont utilisés jusqu'à ce qu'elles atteignent 80% de leur poids adulte. On argumente qu'un minimum de maturité physiologique doit être atteint avant la première insémination de la femelle. Atteindre la maturité physiologique pourrait améliorer la santé et le bien être des lapines. L'utilisation d'aliments pauvres en énergie et riches en fibres est une stratégie alimentaire alternative mentionnée. Cette stratégie est recommandée pour être appliquée jusqu'à l'âge de 70 jours maximum afin de développer la capacité d'ingestion. Cette stratégie favorise aussi un développement corporel plus régulier et a des impacts positifs sur le long terme.

Abstract – **Preparing the future reproductive rabbit.** The reproductive success is not only defined by the genetic potential that each individual inherit from its parents. Maternal and environmental effects that males and females encounter during their development also influence it. The uterine space, the gestation site and the number of littermates influence the pre-natal development, the birth weight and the offspring survival ability in early lactation. In a context where selection favors high litter sizes, and thus littermate competition, practices like cross-foster offspring to reduce litter size and promote weight homogeneity favors the correct development of future reproducing rabbit. Another recommendation is to be sure that one day-old offspring have been milked before being shipped from the selection nucleus to the commercial farms. Few works have been dedicated to study the effects of post-weaning phase on the future reproductive success. Here we point out the necessity of studies dedicated to unravel the consequences of current food restriction practices on the future reproductive life of males and females. Much has been studied regarding the nutritional practices adopted from their selection as future breeders to the beginning of their reproduction, the called rearing period. Two nutritional strategies (quantitative or qualitative restriction) may be used during this phase to favor the correct body development of males and females, while avoiding over-fattening. Regarding male rearing period, their nutrition is straight related to the season. During fall is recommended to nourish young males with high-energy diets while during spring levels a lower energy content seem to be sufficient to cover their needs. Crude protein levels should be superior to 15% during this period. The use of vitamins, micro-minerals and poly-unsaturated fatty acids in the diets for male rabbits are also commented. The most extended recommendation in young females is the feed restriction when high-energy diets are used until females reach 80% of their adult weight. We argue that a minimum physiological maturity must be reached before inseminate females for the first time. Wait for physiological maturity may improve health and welfare of rabbit females.. The use of low-energy and high fiber diets as an alternative strategy is mentioned. This strategy are recommended to be applied no later than 70 days old, favoring thus the development of a higher feed intake capacity. This strategy also favors a smoother development of the body and has positive impacts on the long term.

Introduction

De nombreux travaux ont abordé l'alimentation des femelles et mâles pendant leurs périodes de reproduction (début de la vie reproductive jusqu'à l'élimination ou à la mort). Ces résultats ont été largement diffusés dans des articles de revue (Xiccato, 1996; Pascual, 2002; Pascual *et al.*, 2003). Cependant, une grande partie du potentiel reproductif est défini avant la première mise bas des jeunes lapines ou le commencement de la production spermatique des mâles (pendant leur propre gestation, lactation, croissance et élevage). Arriver à bien les conduire dans les moments essentiels de la vie reproductive des animaux avec notamment l'obtention d'un poids optimum, d'un bon état corporel, de santé et de bien-être, sont des étapes essentielles dans la définition de leur future performance de reproduction, de santé et de longévité. Parmi ces étapes essentielles, nous pouvons mettre en évidence le développement fœtal et la nutrition utérine, le développement pendant la phase d'allaitement, le développement pendant la période d'élevage et la maturité au début de la vie reproductive.

1. Le développement fœtal et la nutrition utérine

1.1. Le développement des gonades pendant la gestation

La différenciation sexuelle commence au 16^{ème} jour de gestation (Allen, 1904; Chretien, 1966). La multiplication des cellules germinales primordiales se passe entre le 10^{ème} et le 26^{ème} jour de gestation. Le nombre de cellules germinales est toujours plus important dans l'embryon mâle que dans l'embryon femelle de même âge. Un groupe de follicules primordiaux se développe pendant le tout début de la période néonatale (Fortune, 1994). Chaque follicule primordial consiste en un ovocyte détenu dans la prophase-I de la méiose et une couche de cellules granuleuses aplaties. C'est pourquoi, des apports nutritionnels et un développement inadéquats pendant la gestation peuvent affecter les performances de reproduction chez le lapin adulte.

1.2. Les facteurs affectant la nutrition et le développement fœtal

L'attribution des substances nutritives joue un rôle important dans le développement du fœtus particulièrement dans les étapes finales de la gestation. Le poids du fœtus est associé avec le développement du placenta fœtal (Bruce et Abdul-Karimn, 1973; Argente *et al.*, 2003). De même, la survie et le développement du fœtus sont étroitement liés aux nutriments apportés par le placenta (Haféz, 1965; Duncan, 1969; Bruce et Abdul-Karim, 1973; Argente *et al.*, 2003; Mocé *et al.*, 2004; Argente *et al.*, 2008). Le nombre de vaisseaux sanguins arrivant à chaque site d'implantation a été utilisé pour calculer l'alimentation de chaque fœtus chez le lapin (Argente *et al.*, 2003; Moce *et al.*, 2004) et la souris (Wirth-Dzieciolowska, 1987).

Un faible apport sanguin aux fœtus semble augmenter la mortalité au 25^{ème} jour de gestation sur des femelles ayant subi une ovariectomie unilatérale (OUL; Argente *et al.*, 2003), au 18^{ème} jour sur des femelles intactes (Argente *et al.*, 2006) et au 18^{ème} jour de gestation sur des femelles OUL et intactes (Argente *et al.*, 2008). Une augmentation du poids des fœtus et des placentas maternel et fœtal était associée à une augmentation du nombre de vaisseaux sanguins à chaque site d'implantation (Argente *et al.*, 2003, 2008). Au 25^{ème} jour de gestation, les sites d'implantation avec un seul vaisseau sanguin ont un poids de fœtus plus faible (-8%) et un placenta plus léger (-17 et -7% pour le placenta fœtal et maternel, respectivement) que des sites ayant 4 vaisseaux sanguins ou plus (Argente *et al.*, 2003). Cette similitude se retrouve dans les résultats de Wirth-Dzieciolowska (1987) sur des souris. Les embryons peu irrigués ont une plus grande probabilité de mortalité et un poids plus faible que des embryons très irrigués.

C'est pourquoi l'alimentation vasculaire intra utérine qui joint chaque site d'implantation semble avoir un effet important sur le développement des fœtus et son placenta, tout comme sur la viabilité du fœtus. L'alimentation vasculaire utérine dépend de beaucoup de facteurs comme la position du fœtus, la longueur de l'utérus et le nombre de fœtus développés de l'implantation à la naissance. A la fin de la gestation, le nombre d'embryons implantés et le nombre de fœtus sont liés à la taille de la portée. Ces sujets seront abordés dans les prochains paragraphes.

1.2.1. La position fœtale

Il est connu que la position du fœtus dans l'utérus (près de l'ovaire, près du corps utérin, ou près du col utérin) affecte le développement fœtal chez le lapin mais il n'y a pas de différences de taux de mortalité fœtale parmi les différentes positions intra-utérine dans les études faites sur le lapin (Argente *et al.*, 2003; Argente *et al.*, 2008). Au 25^{ème} jour de gestation, Argente *et al.* (2003) ont découvert que les plus petits fœtus étaient situés au milieu de l'utérus, ils pesaient 7% de moins que ceux situés près du col utérin ou près de l'ovaire. De même, le placenta fœtal et le placenta maternel sont plus légers dans le corps utérin que près du col utérin ou près de l'ovaire (-20% et -10%, respectivement). Les fœtus situés dans le corps de l'utérus ont moins d'espace que ceux situés aux deux extrémités car ils se retrouvent aplatés sur les parois utérines par les fœtus de la même portée. Ce plus petit espace utérin peut limiter le développement du placenta et le développement fœtal alternativement. Les placentas fœtal et maternel les plus lourds étaient situés au fond de l'utérus, dû probablement à l'importance de l'espace utérin pour les fœtus et à l'importance de l'afflux sanguin dans cette partie de l'utérus, comme décrit par Duncan (1969) et Argente *et al.* (2003 et 2008). Lebas (1982) et Poigner *et al.* (2000a) ont aussi remarqué que les fœtus plus lourds étaient situés près de l'ovaire et les

plus légers dans la partie utérine intermédiaire. Chez les souris, des résultats similaires ont été décrits. McLaren (1965) a observé que, dans le fonds de l'utérus les fœtus avaient tendance à avoir un poids plus gros que les fœtus localisés au niveau du col. Il en va de même chez les cochons. Waldorf *et al.* (1957), Perry et Rowell (1969) et Wise *et al.* (1997) ont découvert que les fœtus les plus lourds étaient situés dans la position utérine plus près des ovaires et qu'il y avait une diminution de leur poids quand ils étaient situés vers le milieu du corps de l'utérus. Contrairement à ce à quoi on pourrait s'attendre, au 18^{ème} jour de gestation, Argente *et al.* (2008) ont montré chez le lapin que les fœtus vivants dans la position utérine plus près de l'oviducte ont un plus petit poids que ceux au milieu de la corne utérine et du col. Il est difficile d'expliquer pourquoi ces modèles changent selon les différentes étapes de la gestation. De nouvelles études seraient utiles pour confirmer le rôle du poids et de la position du fœtus sur son développement tout au long de la gestation.

1.2.2. La taille de la portée à la naissance

Chez les lapins, le poids fœtal est inversement lié à la taille de la portée au début et en fin de gestation (Breuer et Claussen, 1977; Argente *et al.*, 2003). Une augmentation du nombre d'embryons implantés a été associée à une diminution de la moyenne du poids du placenta maternel, du placenta fœtal et des fœtus de 0,03, 0,18 and 0,29 g, respectivement au 25^{ème} jour de gestation. Cela représente 2, 4 et 1% du poids du placenta maternel, du placenta fœtal et des fœtus, respectivement (Argente *et al.*, 2003). Le nombre d'embryons implantés a une relation négative avec l'espace utérin par site d'implantation (Argente *et al.*, 2008). Une réduction de l'espace disponible est linéairement associée à une augmentation du nombre de fœtus morts et à un plus faible poids des fœtus et de leur placentas (Argente *et al.*, 2008). La relation quadratique négative entre le nombre d'embryons implantés et l'espace utérin par site d'implantation suggère que chaque embryon requière un minimum d'espace utérin pour s'accrocher, survivre et se développer. Un plus grand espace utérin semble permettre à un plus grand nombre de vaisseaux sanguins d'atteindre chaque site d'implantation. Avec une meilleure irrigation sanguine, les fœtus ont une probabilité plus faible de mortalité et un poids plus important comme commenté auparavant.

La relation négative entre le poids fœtal et le nombre de fœtus explique un plus faible poids de naissance en association avec une grande portée (Breuer et Clausen, 1977; Vicente *et al.*, 1995; Argente *et al.*, 1999). Un faible poids de naissance peut réduire la survie post-natale. Ainsi, l'augmentation de la taille de la portée pourrait mener à des effets indésirables dans des lignées maternelles issues des programmes de sélection génétique commerciaux.

La taille moyenne de la portée à la naissance dans une lignée de sélection maternelle est d'environ 8 à 10 lapereaux avec une écart-type d'environ 3 lapereaux.

1.2.3. Le poids à la naissance

Il y a de nombreuses preuves des conséquences négatives d'un développement fœtal déficient sur la croissance à venir et les performances de reproduction à l'âge adulte (McEvoy et Robinson, 2003).

Le poids moyen des lapereaux à la naissance est de 50 g avec une écart-type 10 g. Le poids individuel à la naissance est variable en fonction de la saison, de la parité et principalement de la taille de la portée (Fortun *et al.*, 1993; Bolet *et al.*, 1996; Argente *et al.*, 1999). Il est connu que la taille de la portée influence le poids à la naissance, mais aussi la croissance de la naissance au sevrage (Drummond *et al.*, 2000; Poigner *et al.*, 2000a) ainsi que les performances de reproduction de la future femelle reproductrice (Rommers *et al.*, 2001). C'est pourquoi de grandes portées donnent un poids moyen à la naissance plus faible et une mortalité plus élevée que dans les portées de petite taille (Argente *et al.*, 1999). La relation entre le poids de naissance et la survie est légèrement positive (0,30; Argente *et al.*, 1999). Le rang du poids de naissance pour des lapereaux qui ont survécu (25,9 - 82,5g) et qui n'ont pas survécu (22,0 - 73,3g,) est pratiquement similaire et même les lapereaux ayant de faibles poids (<35 g) ont une probabilité de survie supérieure à 70%.

Le poids à la naissance montre une forte corrélation génétique avec le poids au sevrage (0,87; Argente *et al.*, 1999). Il y a très peu d'évaluation des corrélations génétiques entre les caractères de croissance et la taille de portée. Des études ne montrent pas de modèle très clair mais obtiennent généralement de faibles corrélations avec un niveau d'erreur élevé (Gómez *et al.*, 1998; Garreau *et al.*, 2000; García et Baselga 2002; Mínguez *et al.*, 2012).

Dans une étude conduite sur une lignée en sélection pour la taille de portée au sevrage, sur 20 générations, aucune réponse observée n'est liée avec les paramètres de croissance (García et Baselga, 2002). García et Baselga ont conclu que la sélection sur la taille de portée au sevrage ne dégrade pas le potentiel génétique du lapin pour sa croissance. Cependant, Brun et Ouhayoun (1994) ont observé un plus faible poids au sevrage et poids adulte dans la souche INRA1077, sélectionnée pour la taille de portée à la naissance, par opposition à sa souche témoin à la 13^{ème} génération.

En accord avec ces résultats, Rochambeau (1998) a exposé que le poids individuel au sevrage a diminué après 18 gérations de sélection pour la taille de portée dans les souches INRA 1077 et INRA 2026 (-3,4 et -4,4g par génération, respectivement). Ces résultats ont conduit à la création d'une nouvelle souche, la INRA 1777, qui dérive de la souche INRA 1077.

Cette nouvelle souche est sélectionnée pour la taille de portée à la naissance et les effets maternels directs sur le poids au sevrage.

D'un côté, beaucoup d'auteurs ont observé que la variabilité du poids à la naissance à l'intérieur de la même portée est élevé chez le lapin (Bolet *et al.*, 1996; Argente *et al.*, 1999) comme chez le cochon (Quesnel *et al.*, 2008). La mortalité est plus élevée dans des portées hétérogènes que dans des portées homogènes (sur les lapins: Poigner *et al.*, 2000a; sur les cochons: Mesa *et al.*, 2006). La variabilité du poids à la naissance ne semble pas être liée à la taille de la portée chez le lapin (Argente *et al.*, 1999). Des expérimentations de sélection divergente pour l'homogénéité du poids à la naissance dans la même portée réalisées en France (Garreau *et al.*, 2003) seront utiles pour mieux comprendre ces questions.

D'un autre côté, lors d'essais (Biró-Németh et Szendrő, 1990; Poigner *et al.*, 2000b; Szendrő *et al.*, 2006; Savietto *et al.*, 2010; Martínez-Paredes *et al.*, 2009) il a été observé une baisse des performances de reproduction chez les lapins femelle et mâle qui ont subi une malnutrition précoce. Poigner *et al.* (2000b) ont observé que plus le poids de naissance d'une femelle était élevé plus la taille de ses portées était grande pendant les 6 premiers cycles de reproduction consécutifs. Cependant, une étude récente effectuée avec 864 jeunes lapins femelles (Martínez-Paredes *et al.*, résultats non publiés) n'associe aucun effet du poids de naissance sur les performances de reproduction à long terme et sur la durée de vie de ces femelles quand d'autres facteurs étaient considérés. Dans tous les cas, Savietto *et al.* (2010) ont proposé un seuil minimum pour le poids des femelles à la naissance (>57g), qui leur permet d'atteindre le début de leur vie reproductive dans des conditions corporelles favorables (+3% de gras périrénal), et qui pourrait maximiser le potentiel de reproduction pendant les premiers cycles de reproduction (+8% de lapereaux nés totaux).

Dans une lignée de lapins mâles sélectionnés pour la vitesse de croissance (Martínez-Paredes *et al.*, 2009), et en comparant des lapins mâles avec différents poids de naissance et de vitesse de croissance, on observe que les lapins mâles ayant un plus faible poids à la naissance et une vitesse de croissance plus élevée par la suite (peut-être un indicateur d'une malnutrition fœtale ?) ont un plus faible nombre de prélèvements et un pourcentage plus élevé de spermatozoïdes anormaux ($P < 0,05$). Cependant, aucun effet du poids de naissance sur la qualité de sperme sur le long terme, pas même sur le pourcentage d'acrosomes normaux pendant la période d'essai n'a été observé pour les lapins mâles les plus lourds à la naissance (Martínez-Paredes *et al.*, 2015).

2. Le développement précoce du lapin reproducteur

Des programmes de sélection de lapins sont basés sur le développement de lignées spécialisées pour être

utilisées dans un schéma de croisement à triple étage (Baselga, 2004). Dans ce schéma, les souches paternelles et maternelles sont sélectionnées sur différents critères de sélection (gain moyen quotidien du poids après le sevrage ou poids à un âge fixe et taille de portée à la naissance ou au sevrage, respectivement). Il résulte que les souches paternelles et maternelles montrent différents modèles de croissance (Feki *et al.*, 1996) et différents besoins nutritionnels, précisément pendant la période d'élevage (Pascual *et al.*, 2004; Pascual *et al.*, 2013). Dans cette période qui court depuis environ 70 (± 20) à 150 (± 30) jours de vie du lapin, différentes stratégies d'alimentation et de management ont été utilisées pour mieux préparer à la fois les mâles (Pascual *et al.*, 2004) et les femelles (Xiccato *et al.*, 1999; Rommers *et al.*, 2004; Arias-Álvarez *et al.*, 2009; Rebollar *et al.*, 2011; Martínez-Paredes *et al.*, 2012) à leur future vie reproductive (sujet abordé ci-dessous). Il ressort que le succès de la reproduction est défini avant le début de la vie reproductive.

Dans le contexte actuel, le futur lapin reproducteur doit passer au moins 2 filtres: l'un est le sevrage, et l'autre est l'âge moyen à la vente puisque c'est le moment où il est sélectionné sur la base de sa croissance et de son statut sanitaire. Cependant, c'est pendant sa gestation et le début de la période de lactation que son potentiel de reproduction est défini. Dans le cas du lapin, comme mentionné plus haut, les réserves de follicules primordiaux de la femelle se développent au début de sa vie post-natale à l'inverse des autres espèces (primates et ruminants) où elles sont déjà établies à la naissance (Marion et Gier, 1971; Hirshfield, 1991). De ce point de vue, peu d'information sur les impacts du développement précoce sur la vie reproductive future du lapin sont disponibles. Différentes questions se posent : comment le poids de naissance, la compétition entre les lapereaux pour téter, les restrictions d'aliment en période de post-sevrage peuvent-ils jouer sur le développement et la carrière de reproduction des lapins ?

2.1. La compétition entre les lapereaux pour l'accès au lait

Dans la littérature des sciences écologiques, les conséquences sur le long terme d'un développement de vie précoce sont bien documentées (Lindström, 1999), tout comme la corrélation positive observée sur le poids des poussins au 45^{ème} jour et la taille de la couvée chez les oiseaux (Haywood et Perrins, 1992), ou la réduction de la taille de la portée avec un ratio femelle/mâle biaisé dans les portées des femelles hamsters dorées qui ont eu une alimentation nutritive restreinte après la naissance (Huck *et al.*, 1986). De plus, des études sur la population humaine soutiennent que ces conditions de début de vie peuvent conditionner le succès reproductif des femmes à travers les générations (Lummaa, 2003) tandis que les hommes nés avec un poids faible, dans les générations où se marier était une norme sociale,

étaient moins susceptibles de se marier (Phillips *et al.*, 2001). Dans la nature, un mauvais départ peut avoir des causes différentes, telles qu'une faible nutrition embryonnaire (d'où les avortons), une naissance tardive dans la saison de reproduction et/ou une faible possibilité d'alimentation parentale (Metcalfé et Monaghan, 2001). Comme mentionné ci-dessus, chez le lapin, un faible poids à la naissance est lié à une réduction du taux de survie des lapereaux (Coureaud *et al.*, 2000; Poigner *et al.*, 2000a; Coureaud *et al.*, 2007), du développement corporel jusqu'à l'âge de la reproduction, (Szendrő *et al.*, 2006), et à une réduction de la taille de la portée à la naissance et de la survie des petits nés des lapines primipares (Poigner *et al.*, 2000b). A l'opposé, un faible poids de naissance ne semble pas autant affecter les caractéristiques séminales au début de la carrière reproductrice du jeune lapin mâle, (Martínez-Paredes *et al.*, 2015) mais des études complémentaires sont encore nécessaires.

Pour éviter les problèmes liés au faible poids de naissance sur les futures performances de reproduction de la femelle, différentes stratégies sont disponibles. D'un point de vue du management, Poigner *et al.* (2000b) suggèrent d'homogénéiser les portées sur les poids de naissances des petits pour égaliser les chances de développement précoce, alors que Coureaud *et al.* (2007) soulignent l'importance de la prise de lait (tétée) dans les premières heures de vie post-natale; précisément pour les lapins nés avec moins de 40g (communication personnelle). Ce sont des stratégies complémentaires qui devraient être prises en compte précisément quand un petit d'un jour est sélectionné comme futur reproducteur. En ce qui concerne la sélection des lapins dans les souches maternelles, spécialement ceux des programmes orientés sur la taille de la portée à la naissance, une alternative raisonnable a été proposée et étudiée par Garreau *et al.* (2008). Ils proposaient une sélection canalisante sur le poids à la naissance qui résulte en un nombre réduit de mort-nés, une meilleure capacité à survivre pendant la lactation et une plus grande portée au sevrage. D'une façon similaire, la fondation d'une lignée maternelle par la sélection de femelles ayant une durée de vie longue et productive (Sánchez *et al.*, 2008) a généré des femelles capables d'ajuster leur effort de production aux contraintes environnementales (Savietto *et al.*, 2013). Ce que souhaite tout éleveur.

En résumé, les périodes pré et post-natale sont des phases importantes pour assurer le futur succès de la reproduction dans les différentes espèces. Quelques informations sont disponibles concernant les lapins domestiques, mais des recherches additionnelles sont nécessaires, surtout en ce qui concerne le développement au cours de la phase de lactation. De plus amples informations sur les effets du long terme de la sélection canalisante sur le poids à la naissance ou la sélection sur la taille de portée au sevrage devraient être recherchées. Dans le contexte actuel,

s'assurer que le petit ingère bien du lait, ainsi que les pratiques de standardisation du poids de portée à la naissance sont utiles pour optimiser les performances des femelles et des mâles futurs reproducteurs. De ce côté aussi des études plus exhaustives sont nécessaires.

2.2. La croissance post-sevrage et ses impacts dans la future vie reproductive

A la fin des années 90, l'entéropathie épizootique du lapin (EEL), un sévère syndrome gastro intestinal, est apparu dans les élevages (Coudert *et al.*, 1997). En dépit de sa description diagnostique précise, (Licois *et al.*, 2005) ses causes étiologiques sont toujours inconnues. Pour prévenir l'épidémie d'EEL, il y a eu un recours accru aux antibiotiques, pour éviter le fort taux de mortalité généré (Licois *et al.*, 2005). En même temps, des stratégies pour favoriser le développement (Gidenne *et al.*, 2002; Debray *et al.*, 2003; Gallois *et al.*, 2005; Romero *et al.*, 2009; Martínez-Vallespín *et al.*, 2011) et la colonisation de l'écosystème (Combes *et al.*, 2014) digestif des lapins sevrés ont été utilisées pour favoriser la santé digestive et essayer de prévenir l'EEL. Dans la période post-sevrage, des restrictions alimentaires sont une stratégie alternative (Boisot *et al.*, 2003; Gidenne *et al.*, 2012).

La restriction alimentaire change le comportement alimentaire en diminuant le transit digestif et en modifiant l'activité microbienne caecale (Gidenne et Feugier, 2009). Elle favorise la santé digestive des lapins sans grandes conséquences négatives sur l'ensemble des performances de croissance (Gidenne *et al.*, 2009; Romero *et al.*, 2010), par rapport aux lapins nourris *ad libitum*, dû à la capacité du lapin de réaliser une croissance compensatrice. Cependant, cette pratique altère la composition corporelle et le développement des organes. Cette altération dépend de l'âge du lapin, du type (quantitatif ou qualitatif), et du niveau de restriction ou de sa durée, et différents résultats ont ainsi été reportés. En ce qui concerne le contenu lipidique corporel à la fin de la période étudiée, Ledin (1984) et Ouhayoun (1989) ont rapporté des niveaux plus faibles, tandis que les études plus récentes ont rapporté des niveaux plus élevés (Gidenne *et al.*, 2012) suite à une restriction quantitative. Concernant le développement des organes, il a été montré par exemple, que le développement du foie est réduit au cours de la période de restriction, mais est plus élevé à la fin de l'essai (Ledin, 1984; Tumova *et al.*, 2007). Des résultats divergents ont été reportés dans la revue d'Ouhayoun (1989), où une sévère restriction à la 11^{ème} semaine de vie a entraîné un plus faible développement relatif du foie rapporté au poids de la carcasse. A cause de ses réserves de graisse (Pascual *et al.*, 2013; Savietto *et al.*, 2015) et de sa fonction métabolique, le foie joue un rôle central dans le métabolisme et la répartition des énergies pour la mise en œuvre de la fonction de reproduction et des autres fonctions vitales (Wade et Schneider, 1992).

En conséquence, la réalisation d'études sur les impacts de la stratégie de restriction alimentaire post-sevrage sur les réserves et les organes liés à la fonction de reproduction sont nécessaires. L'utilisation de stratégies de restriction énergétique qualitative, par augmentation du taux de fibres devrait être étudiée dans la période post-sevrage. Les premiers résultats semblent aller dans le même sens que la restriction quantitative : réduction de la teneur en graisse dissécable et du poids relatif du foie (Pascual *et al.*, 2014). De plus, les apports de connaissances des systèmes de production alternatifs tel que le "lapin au pâturage", dans lequel la disponibilité et la qualité de la nourriture sont très fluctuantes peuvent être d'un grand intérêt.

En résumé, la restriction alimentaire pendant la période post-sevrage est une stratégie raisonnable et appropriée pour prévenir l'apparition de désordres digestifs. En pratique, la restriction est surtout appliquée pour limiter la quantité mais pas la qualité de l'alimentation. Beaucoup de méthodes ont été utilisées, variables selon les âges, la durée de la période de restriction, le niveau de restriction et en présence ou pas de période post-restriction *ad libitum* (la variation sur les périodes de transition existe aussi). De telles différences peuvent affecter la courbe de croissance, le développement des tissus et des organes, et la quantité et la localisation des réserves énergétiques (tissus adipeux, muscles et foie). En revanche, les informations sur l'impact des restrictions d'alimentation pendant la période post-sevrage sur les performances de reproduction ultérieures du lapin sont peu abondantes. C'est pourquoi, des recherches supplémentaires sont nécessaires.

3. Le développement pendant la période d'élevage

De façon à définir un programme d'alimentation au cours de la période d'élevage adapté, il est important de savoir où nous sommes maintenant et ce que nous voulons atteindre. Dans le cas des mâles de lignées paternelles utilisés pour le croisement à triple étage, il est clair que nous avons un fort taux de croissance des réserves lipidiques mais ce que nous voulons c'est atteindre une bonne production spermatique dans ses aspects qualitatifs et quantitatifs. Dans le cas des femelles, les besoins nutritionnels ont été augmentés dans leur ensemble, dû à la sélection génétique pour la taille de portée, qui mène à des besoins pour la gestation et la production laitière plus élevés et par conséquent, à une balance énergétique négative plus prononcée pour satisfaire l'ensemble de ces besoins (Pascual *et al.*, 2013). Cependant, l'utilisation de différents aliments enrichis en énergie chez la femelle reproductrice n'a pas toujours été très efficace pour couvrir ces différents besoins additionnels (Pascual *et al.*, 2003) et l'amélioration de l'ingestion spontanée d'aliment à travers un programme d'élevage pourrait être utile.

Une alimentation pendant la phase d'élevage des lapins futurs reproducteurs devrait avoir trois

objectifs principaux : la satisfaction des besoins nutritionnels, le respect de la santé et du bien-être, tout comme la maximisation de la production spermatique des mâles destinés à l'insémination artificielle (IA) ou des performances de reproduction sur le long terme des femelles. Pour atteindre cet objectif, les jeunes lapins doivent avoir un développement physiologique adéquat (tant digestif que reproductif) pour optimiser l'utilisation future des ressources et une bonne condition physique qui leur permettra de faire face aux différents défis environnementaux et reproductifs, tout en évitant un engraissement excessif.

Les nouveaux programmes d'alimentation proposés pour les jeunes lapins de production sont principalement basés sur deux stratégies: la restriction alimentaire ou l'alimentation *ad libitum* avec des aliments enrichis en fibres et ayant une faible concentration nutritive. Ces deux stratégies sont discutées ci-dessous séparément pour les mâles et les femelles.

3.1. Les mâles

L'information disponible sur les programmes d'élevage pour les lapins mâles est rare mais pertinente. Par rapport au développement de la croissance, les lapins mâles sélectionnés pour leur taux de croissance de 28 à 63 jours d'âge (souche R de l'Universitat Politècnica de València) montrent un gain quotidien de 40 g/j entre 9 et 14 semaines d'âge, qui peut se réduire de 5 à 10 g/j de la 14^{ème} à la 24^{ème} semaine (commencement de la vie reproductive), il existe deux phases avec différents besoins pendant l'élevage (Pascual, 2002). C'est pourquoi, pour définir les besoins nutritionnels des jeunes mâles, il sera nécessaire de considérer ces deux phases. Considérer les variations saisonnières et de l'environnement sont aussi importantes avant de définir le programme de alimentation des mâles reproducteurs.

Pascual *et al.* (2004) ont évalué l'influence de trois programmes alimentaires différents sur le niveau d'énergie digestible [bas (B) : 10,9, moyen (M) : 12,3 et haut (H) : 13,5 MJ d'énergie digestible (ED) / kg de matière sèche (MS)] sur des mâles sélectionnés sur la vitesse de croissance en été-automne et en hiver-printemps. Les résultats montraient un meilleur développement physiologique des animaux élevés en hiver-printemps. Ce meilleur développement physiologique peut avoir des conséquences positives tant sur la prise de poids, comment sur la concentration et la qualité de l'éjaculat. Par exemple, les mâles élevés pendant la période hiver-printemps ont eu une concentration des spermatozoïdes (spz) immatures (i.e. avec gouttelettes cytoplasmiques résiduelle) plus faible que les mâles élevés pendant été-automne. Martínez-Paredes *et al.* (2015) ont aussi observé l'effet des conditions d'environnement sur la production de sperme et sa qualité : les éjaculats obtenus récupérés dans des environnements plus stables (i.e. amplitude thermique réduit et température

moyenne modérée) sont de meilleure qualité. D'un côté, Pascual *et al.* (2004) ont observé que les mâles élevés avec les aliments B et M pendant l'automne ne couvraient pas leurs besoins en protéines, ce qui entraînait une réduction de la concentration spermatique ($-34,8$ et $-9,4 \times 10^6$ spz par éjaculat comparé avec l'aliment H, respectivement), et des pourcentages plus importants des spz anormaux ou avec des gouttelettes cytoplasmiques. Cependant, au printemps, les mâles nourris avec l'aliment B avaient une plus grande consommation d'aliment (couvrant les besoins nutritionnels) et montraient une augmentation de production de sperme ($+212$ et $+146 \times 10^6$ spz par éjaculat comparé à l'aliment M et H, respectivement). Dans ce sens, Nizza *et al.* (2000) ont observé une réduction de production de sperme et de motilité, sur les mâles nourris avec un aliment contenant 13% de protéines brutes comparé à ceux contenant 15 et 17%. Ils recommandent donc une alimentation contenant au moins 15% de protéines.

D'un autre côté, les jeunes mâles pourraient montrer une consommation d'aliment irrégulière proche à la phase d'entraînement (i.e. autour de la 14^{ème} semaine d'âge) ce qui pourrait amener des conséquences néfastes sur la performance reproductive. Pascual *et al.* (2004) ont observé que les mâles adultes ont des périodes de forte consommation, qui peuvent mener à un embonpoint, parfois associé avec une augmentation des anomalies spermatiques et une augmentation des problèmes de fertilité (Du Plessis *et al.*, 2010). Maertens *et al.* (2010) ont aussi rapporté des périodes où les animaux ne se nourrissent pas ou très peu, et où la production et la qualité de la semence sont faibles. Même si une restriction alimentaire (environ 25%) sur les jeunes mâles de 15 semaines d'âge a des conséquences négatives sur la libido et la production de sperme (Luzi *et al.*, 1996), un ajustement aux besoins quotidiens a été proposé pour réduire les problèmes associés à l'embonpoint (Maertens, 2010). Cette stratégie d'alimentation pourrait aussi assurer une prise quotidienne régulière d'aliment. Pascual *et al.* (2015a ; 2015b) ont montré qu'une restriction modérée (environ 12%) associée à une ingestion plus stable satisfait les besoins nutritifs des mâles améliorant quelques caractéristiques morphologiques du sperme, ainsi que la fécondance du sperme (+4%).

Même si cela n'a pas été étudié chez les jeunes mâles, des acides aminés et des oligoéléments pourraient améliorer la production et la qualité de la semence. Parmi d'autres éléments essentiels, les vitamines A, E, C et D3, le zinc, la L-arginine, la L-carnitine et les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont parfois utilisés de façon supplémentaire. En bref, même si les vitamines sont directement ou indirectement liées à la spermatogénèse, les différents niveaux de supplémentation étudiés n'ont pas montré d'améliorations importantes... Seule la vitamine E, avec une propriété anti-oxydante, semble améliorer le sperme du mâle adulte notamment quand le sperme

est congelé, il en est de même avec des aliments enrichis en AGPI (Castellini, 2008). Le zinc influence les organes reproducteurs au travers de l'axe hypothalamo-hypophysaire. Mocé *et al.* (2000) ont observé que les caractéristiques qualitatives et quantitatives de la semence sont améliorées quand l'alimentation est supplémentée avec 49 ppm de zinc. Une carence en arginine peut causer une détérioration du métabolisme des spz, entraînant une spermatogenèse et une motilité réduites (Holt *et al.*, 1944). Les spz accumulent la carnitine lors de leur passage dans la partie distale de l'épididyme. Pour cette raison, une supplémentation de carnitine a été associée à une augmentation du nombre de spz viables (Jeulin et Lewin, 1996), bien que chez le lapin les résultats soient peu concluants. Finalement, les phospholipides de la membrane des spz contiennent des quantités considérables d'AGPI à longue chaîne, qui avec le cholestérol sont responsables des changements intervenant dans la fluidité de la membrane. Ils régulent ainsi la réaction acrosomique nécessaire à la pénétration des spz dans les ovules (Roldan et Harrison, 1993; Apel-Paz *et al.*, 2003). La plupart de ces AGPI sont des acides linoléiques et alpha linoléiques et leur concentration dans l'aliment pourrait être facilement modifiée. Cependant, les résultats sont encore peu concluants pour envisager une modification de l'aliment (Yamamoto *et al.*, 1999; Castellini *et al.*, 2006).

3.2. Les femelles

Traditionnellement, les jeunes femelles étaient nourries avec un aliment d'engraissement ou avec un aliment pour la phase de l'allaitement, jusqu'à leur première mise bas. Cependant, ce programme alimentaire s'est traduit par un taux de mortalité prénatale important (Viudes-de-Castro *et al.*, 1991), une consommation faible au début de la période de lactation et une réduction de la durée de vie de la lapine. En effet, Martínez-Paredes *et al.* (2012) ont observé une mortalité de 30% quand les lapines étaient nourries *ad libitum* avec un aliment pour lapines allaitantes pendant la période d'élevage, lié au risque croissant de problèmes digestifs dans les premières semaines (observé aussi par Rommers *et al.*, 2004a) et de toxémie gestationnelle à la fin de la gestation.

Pour résoudre ces problèmes, des auteurs proposent une restriction alimentaire comme alternative à la traditionnelle forme d'alimentation (*ad libitum*) (Partridge, 1986; Maertens, 1992). Les résultats associés à la restriction d'aliment sont très variés. Plusieurs études indiquent que la restriction d'aliment retarde la croissance et la maturité sexuelle à la première IA (Rommers *et al.*, 2004b), conduisant à une faible fertilité (Szendrő *et al.*, 2002, Rebollar *et al.*, 2011) et même une taille de portée plus petite à la première mise bas (Rommers *et al.*, 2001 ; 2002) sans effet positif sur la production laitière (Nicodemus *et al.*, 2007).

Cependant, plusieurs variables peuvent influencer le succès de la restriction d'aliment, comme la période d'application, le niveau de restriction, le type de génétique, etc. Par rapport à l'âge au début de la restriction, il semble convenable de s'assurer d'un développement suffisant de la femelle et l'appliquer à un âge d'environ de 10-12 semaines (Deltoro et Lopez, 1985). Sur de jeunes lapines (10 semaines d'âge) en restriction alimentaire qualitative (8,0 MJ ED / kg MS), retarder la 1^{ère} IA jusqu'à ce qu'elles aient atteint environ 3 kg, augmente l'ingestion et la production du lait pendant la première lactation (Pascual *et al.* 2002). Récemment, Manal *et al.* (2010) ont observé une plus grande consommation et prise de poids à la fin de la gestation, et des lapereaux plus lourds à la naissance, quand les femelles matures (de 5 mois) étaient sous restriction alimentaire (1,32 fois le coût de maintien selon Maertens, 1993) pendant 15 à 20 jours après leur première IA. Eiben *et al.* (2001), ont comparé des jeunes femelles nourries à 100 % (*ad libitum*), à 95 % (jeûne complet un jour/semaine), à 83 % (9 heures d'accès quotidien à la nourriture) et à 76 % (approvisionnement fixe quotidien), ils ont seulement observé un retard pour atteindre le poids idéal à la 1^{ère} IA dans les deux derniers groupes, sans conséquence négatives sur les performances de reproduction. Au niveau génétique, Matics *et al.* (2008) ont décrit un délai plus long pour atteindre le poids prévu quand la restriction était appliquée sur des femelles de taille plus grande. Dans une étude de longue durée (2 années), Martínez-Paredes (2008) n'a pas trouvé de différence sur la durée de vie, ni même sur les performances de reproduction pour les femelles ayant suivi un régime de restriction à l'élevage (140 g de MS/j) comparé avec d'autres systèmes d'alimentation. Finalement, l'utilisation des techniques pour mesurer l'état corporel (Rebollar *et al.*, 2011; Martínez-Paredes *et al.*, 2012) et/ou le niveau des métabolites tels que la leptine (Nicodemus *et al.*, 2007; Rebollar *et al.*, 2008) ont confirmé que les jeunes femelles devraient atteindre un seuil minimum pour maximiser la fertilité quand la restriction est appliquée. C'est pourquoi, il peut être conclu qu'un degré de maturité est nécessaire à la première IA pour assurer avec succès et durablement une reproduction.

Une alternative à la restriction d'aliment pourrait être l'utilisation *ad libitum* d'aliments enrichis en fibres pendant la phase d'engraissement, puisqu'ils pourraient prévenir un surpoids, aider à obtenir des ressources avant et après la première mise bas et pourraient contribuer à réduire la balance énergétique négative des femelles primipares. Le succès de cette stratégie nous est assuré par le plus grand développement de l'appareil digestif chez la femelle (Fernández-Carmona *et al.*, 1998). Ainsi, il est conseillé de commencer l'administration de ce type d'aliment avant la 12^{ème} semaine, avant que le développement de l'appareil digestif ne soit terminé (Deltoro et Lopez, 1985).

Les résultats obtenus sont différents en fonction de l'aliment utilisé, du type de gestion de la femelle, du génotype et des conditions d'environnement de la ferme. Pascual *et al.* (2013) ont proposé une alimentation riche en fibre à partir du 60^{ème}-70^{ème} jour de vie. En effet, si ces aliments sont administrés plus tard, il n'y a pas d'effets positifs sur la reproduction ultérieure, indépendamment du niveau de fibre neutre détergent de l'aliment (360-500g FND / kg MS; Quevedo *et al.*, 2005; Verdelhan *et al.*, 2005; Pereda *et al.*, 2010).

En ce qui concerne la composition chimique de ces aliments riches en fibres, un taux de lignine trop élevé [158g lignine en détergent acide (LDA) / kg MS] retarde la puberté et dégrade la fertilité par rapport à un taux de lignine normal (50g LDA / kg MS; Arias-Alvarez *et al.*, 2009). Cependant, des valeurs intermédiaires (93g LDA / kg MS) pourraient encourager l'alimentation des jeunes femelles et permettre d'atteindre un apport d'énergie digestive sans entraîner de problème de fertilité (Nicodemus *et al.*, 2007). La teneur en ED des aliments riches en fibres ne semble pas être un facteur limitant (même jusqu'à 8-9 MJ ED / kg MS) les femelles pourraient ainsi atteindre le niveau désiré de maturité à la première IA à la 18^{ème} et à la 19^{ème} semaine d'âge (Pascual *et al.*, 2002 et Martínez-Paredes *et al.*, 2012).

D'un autre côté, l'utilisation d'aliments riches en fibres est liée avec une capacité d'ingestion plus élevée et une mobilisation des ressources acquises (i.e. réserves gras) de forme plus graduelle (Martínez-Paredes *et al.*, 2012) qui permet un meilleur développement des jeunes femelles jusqu'à la première mise bas et de meilleures performances reproductives ultérieures. Quand l'alimentation est riche en fibres, Rebollar *et al.* (2011) et Martínez-Paredes *et al.* (2012) ont observé une faible concentration d'acides gras non-estérifiés dans le sang des femelles à la première mise bas, en comparaison de celles nourries avec un aliment de lapines allaitantes. Cela était associé à une augmentation de la fertilité au 11^{ème} jour de post-partum ou à une faible mortalité des lapereaux et femelles à la mise bas, respectivement. Friggens (2003) suggère que la mobilisation pourrait avoir des conséquences négatives sur la reproduction quand on est loin de ce niveau optimal. En outre, le degré de maturité atteint à la première insémination avec ces aliments semble aussi affecter la distribution des nutriments pendant la première lactation. Xiccato *et al.* (1999) ont observé que les aliments riches en fibres pendant l'élevage, mènent à des animaux plus légers au moment de la reproduction, favorisaient la consommation d'énergie des lapines. Ce surplus énergétique est utilisé pour réduire la perte d'état corporel au lieu d'un développement de portées. Cependant, lorsqu'une alimentation riche en fibre permet d'atteindre un poids convenable à la première insémination, la plus grande prise d'aliments pendant la lactation était principalement vouée à améliorer la

production de lait (Pascual *et al.*, 2002; Martínez-Paredes, 2008).

Normalement les différences physiologiques et reproductives observées dans les différents programmes alimentaires à base de fibres pendant l'engraissement, disparaissent après la deuxième mise bas, mais quelques auteurs ont décrit des effets à long terme. Nizza *et al.* (1997) ont obtenu un intervalle plus faible entre les mises bas et une plus longue durée de vie des femelles après deux ans de contrôle. Cependant, Martínez-Paredes *et al.* (2008) n'ont pas retrouvé ces mêmes conclusions. Récemment, Savietto *et al.* (2012), sur une étude de terrain avec 619 femelles, ont observé une plus longue durée de vie (46,5 j) des jeunes femelles élevées avec une alimentation riche en fibres, due à une meilleure viabilité (+4.4 et +5.1% à la première et 4^{ème} mise bas), conduisant à un plus grand nombre de lapereaux nés (+7.4 lapereaux nés vivants par femelle). Bien que l'espérance de vie d'un animal dépende d'un grand nombre de facteurs, les programmes d'alimentation pendant la phase de préparation qui permettent une provision graduelle des recours, un développement progressif des jeunes reproducteurs et une plus faible mobilisation corporelle dans les moments de la vie reproductive qui entraînent le plus fort challenge pour les animaux pourraient diminuer les taux de réforme. En fait, une des particularités plus marquantes des lapins de la souche espagnole LP (sélectionnée sur des critères de robustesse et longévité reproductive; Sánchez *et al.*, 2008) est sa faible dépendance aux réserves corporelles pour assurer sa reproduction (Savietto *et al.*, 2015), puisque généralement, au contraire, les réserves corporelles sont utilisées comme facteur de sécurité. Theilgaard *et al.* (2006) ont observé que les lapines ayant un faible état corporel ou montrant de fortes mobilisations présentent un plus grand risque d'élimination.

4. La maturité au début de la vie reproductive

Le début de la reproduction a fréquemment été identifié comme un point crucial dans le développement des jeunes animaux d'élevage. Depuis ce moment, toute l'information concernant chaque individu serait conditionnée par leur histoire reproductive (i.e. état sanitaire, fertilité, etc.). Beaucoup de travaux concluent que quand l'état corporel de l'animal s'écarte du «niveau optimum» au début de la vie reproductive, cela peut avoir des conséquences négatives sur la reproduction.

Chez les femelles, O'Dowd *et al.* (1997) ont observé comment des stratégies nutritionnelles ayant pour objectif d'augmenter les réserves corporelles chez les truies de souches maigres, ont amélioré leur fertilité et leur durée de vie. Dans les souches de porcs sélectionnés pour les réserves adipeuses, Tarrès *et al.*, (2006) ont proposé l'existence d'un état corporel optimal en début de la vie reproductive pour maximiser la longévité, en recommandant que

l'épaisseur de lard dorsal ne soit pas plus de 16 mm à la fin de la période d'élevage et que ce niveau devrait être maintenu jusqu'à la première mise bas sans dépasser les 19 mm. En fait, une masse de graisse excessive au moment de la première mise bas est aussi liée à une réduction de la longévité et à une réduction modérée de l'ingestion d'aliment par rapport à ce qui est recommandé pendant la période d'élevage des porcins (Jørgensen and Sørensen, 1998).

Des résultats similaires ont été trouvés chez les jeunes lapines. Quevedo *et al.* (2005) ont comparé deux types de lapines obtenues du croisement de différentes générations de souches maternelles sélectionnées pour la taille de portée au sevrage (12 générations de séparation). Douze générations de sélection sur la prolificité ont entraîné une augmentation de l'épaisseur du gras périrénal chez les jeunes lapines à 3 mois d'âge, même si les différences entre les animaux disparaissent après. Comme espéré, la sélection pour la prolificité a augmenté la taille de portée à la naissance dans les générations actuelles (Quevedo *et al.*, 2005 et 2006) comparées avec la génération plus ancienne (+1,1 lapereaux totaux en moyenne; $P < 0,05$). Pour ces mêmes animaux, Theilgaard *et al.* (2006) ont décrit que, même si l'effet de la sélection sur la taille de la portée au sevrage sur la durée de vie reproductive n'est pas significative, une tendance pour une survie plus longue dans la population actuelle est constatée.

D'autres travaux réalisés sur des jeunes lapines ont montré l'importance de l'état corporel au commencement de la vie reproductive sur la reproduction et la longévité. Rommers *et al.* (2002) ont observé comment les lapines plus lourdes à 14,5 semaines d'âge, restent tout au long de leur période reproductive avec une taille de portée améliorée seulement à la première mise bas (8,9, 7,7 et 6,4 de lapereaux totaux nés de lapines lourdes, moyennes et petites, respectivement). Dans une autre étude, Rommers *et al.* (2004a) ont mentionné l'intérêt d'attendre que les femelles aient atteint un degré de maturité suffisant au moment du premier accouplement. De plus, bien que la fertilité soit influencée par beaucoup de facteurs, Arias-Álvarez *et al.* (2009) ont récemment montré que la leptine doit avoir une concentration minimale, dite seuil permissif, pour le déclenchement de la puberté en deçà duquel une inhibition de la reproduction peut exister si l'état corporel critique est insuffisant pour déclencher la gestation (Moschos *et al.*, 2002). En fait, Martínez-Paredes *et al.* (2012), qui ont étudié la relation entre la fertilité et les niveaux de leptine sanguins chez la jeune lapine, ont montré qu'il existe une teneur minimum en leptine pour maximiser la fertilité au moment de la première insémination mais qu'au-delà de ce seuil une augmentation de la teneur en leptine n'améliore pas les performances.

Dans le cas des mâles, la majorité des mâles de lignée paternelle sont voués à être utilisés en IA.

Il a été montré récemment qu'une augmentation du poids des lapereaux à l'engraissement est associée à une augmentation du nombre de spermatozoïdes anormaux et d'infertilité (Du Plessis *et al.*, 2010). Chez l'homme, les individus ayant un surpoids présentent une réduction des niveaux d'androgènes et une augmentation des niveaux d'œstrogènes (Hammoud *et al.*, 2008). En effet, l'obésité affecte la dynamique des hormones GnRH-LH-FSH, altérant les fonctions des cellules de Leydig et de Sertoli, conduisant à une modification de la maturation des spermatozoïdes (Bélangier *et al.*, 2002). Ces modifications des profils hormonaux pourraient expliquer un risque croissant d'altération des caractéristiques de la semence quand le poids des mâles augmente (Hammoud *et al.*, 2008). Martínez-Paredes *et al.* (2015) ont observé que plus élevée est la vitesse de croissance à l'engraissement (63 à 147 jours de vie), plus faibles sont le volume et la motilité (-0.01 mL et -0.18% par g/jour, respectivement). Pascual *et al.* (2004) ont montré que la production de sperme, la concentration et la motilité des gamètes sont affectées négativement quand les jeunes mâles sont nourris avec une alimentation hautement énergétique (13.5 MJ ED / kg MS). Ces résultats soulignent l'importance du contrôle du développement du mâle pendant la phase d'engraissement pour éviter une surcharge pondérale qui pourrait avoir des conséquences négatives sur la production spermatique ultérieure.

Conclusion

Dans le contexte actuel, la préparation du lapin futur reproducteur se réduit aux stratégies d'alimentation pendant la phase d'élevage. Ici, nous avons synthétisé les principaux travaux de recherche concernant la nutrition du jeune mâle et de la jeune femelle. Concernant le jeune mâle, nous avons identifié comme points critiques la forte variation de l'ingestion journalière de matière sèche et la nécessité d'éviter le surpoids. Dans ces aspects les travaux sont peu nombreux. Cependant, les stratégies d'alimentation des femelles sont plus nombreuses et diversifiées. Dans cette période de la vie de la jeune femelle, le point clé est de trouver la balance correcte entre le développement physique (poids et réserves gras) et physiologique (maturité sexuelle). Pour bien élever la jeune femelle, une connaissance précise de son potentiel de croissance et de l'évolution de sa composition corporelle est essentielle. Avoir cette connaissance permettra à l'éleveur de discriminer entre les différents stratégies d'alimentation existantes. En l'absence de cette information (responsabilité des sélectionneurs), l'utilisation des aliments riches en fibres entre 9 et 20 semaines d'âge nous semblent la stratégie la plus sécurisée (IA à 20 semaines).

L'importance de la phase d'élevage est claire. Cependant, les travaux ici synthétisés démontrent l'importance du développement dans les phases pré- et post-natales sur la future carrière reproductive du lapin. Jusqu'à présent, l'information concernant le poids à la naissance a été étudiée et les résultats ne sont pas concluants. Dans la même direction, il nous semble nécessaire de développer des travaux de recherche sur les impacts du développement pendant les phases de lactation et d'engraissement sur la future vie reproductive du lapin. Pendant la phase de lactation, la compétence intra portée doit être l'objet de l'étude. Dans l'étape post-sevrage, l'actuelle pratique de restriction alimentaire peut impacter le développement corporel et avoir des conséquences sur la future carrière reproductive des lapins. Dans ce sens, des études plus précises sont aussi nécessaires.

Remerciements

Les auteurs remercient l'effort de Pierrette Girard comme traductrice et correctrice. Cette étude a été réalisée grâce aux travaux développés durant la dernière décennie et avec l'aide de différentes subventions du Ministère Espagnol de la Science et de l'Innovation (AGL2000-0595-C03-03, AGL 2004-02710, AGL2008-00273, AGL2011-30170-C02-01 et AGL2014-53405-C2-1-P).

Références

- ALLEN, B. M. 1904. The embryonic development of the ovary and testis of the mammals. *Am. J. Anat.* 3: 86-146.
- APEL-PAZ M., VANDERLICK T.K., CHANDRA N., DONCEL F.G., 2003. A hierarchy of lipid constructs for the sperm plasma membrane. *Biochem. Biophys. Res. Co.*, 309: 724-732.
- ARGENTE, M. J., SANTACREU, M. A., CLIMENT, A., BLASCO, A. 1999. Phenotypic and genetic parameters of birth weight and weaning weight of rabbits born from unilaterally ovariectomized and intact does. *Livest. Prod. Sci.* 57: 159-167.
- ARGENTE, M. J., SANTACREU, M. A., CLIMENT, A., BLASCO, A. 2003. Relationship between uterine and fetal traits in rabbits selected on uterine capacity. *J. Anim. Sci.* 81: 1265-1273.
- ARGENTE, M. J., SANTACREU, M. A., CLIMENT, A., BLASCO, A. 2006. Influence of available uterine space per fetus on fetal development and prenatal survival in rabbits selected for uterine capacity. *Livest. Sci.* 102: 83-91.
- ARGENTE, M. J., SANTACREU, M. A., CLIMENT, A., BLASCO, A. 2008. Effects of intrauterine crowding on available uterine space per fetus in rabbits. *Livest. Sci.* 114: 211-219.
- ARIAS-ÁLVAREZ M., GARCÍA-GARCÍA R.M., REBOLLAR P.G., NICODEMUS N., REVUELTA L., MILLÁN P., LORENZO P.L. 2009. Effects of a lignin-rich fibre diet on productive, reproductive and endocrine parameters in nulliparous rabbit does. *Livest. Sci.*, 123: 107-115.
- BASELGA, M., 2004. Genetic improvement of meat rabbits. Programmes and diffusion. In *Proc.: 8th World Rabbit Congress*, 7-10 September, 2004. Puebla, México, 1-13.
- BÉLANGIER C., LUU-THE V., DUPONT P., TCHERNOF A. 2002. Adipose tissue intracrinology: potential importance of local androgen/estrogen metabolism in the regulation of adiposity. *Horm. Metab. Res.*, 34, 737-745

- BIRÓ-NÉMETH E., SZENDRŐ ZS. 1990. Reproductive performance of does suckled in different size litters (in Hungarian). In Proc.: 2nd Hungarian Conference on Rabbit Production. Kaspovar, Hungary, 47-51.
- BOLET, G., ESPARBIE, J., FALIERES, J. 1996. Relations entre le nombre de foetus par corne utérine, la taille de portée à la naissance et la croissance pondérale des lapereaux. *Ann. Zootech.* 45: 1-16.
- BOISOT P., LICOIS D., GIDENNE T. 2003. Feed restriction reduces the sanitary impact of an experimental reproduction of Epizootic Rabbit Enteropathy syndrome (ERE), in the growing rabbit. Proc 10^{èmes} Journées de la Recherche Cunicoles. Le Mans, France, 267-270.
- BREUER, H. W., CLAUSSEN, V. 1977. Correlation of birth weight and crown-rump to the number of implantation and litter size in rabbits. *Anat. Embryol.* 151: 91-95.
- BRUCE, N. W., ABDUL-KARIM, R. 1973. Relationship between fetal weight, placental weight and maternal placental circulation in the rabbit at different stages of gestation. *J. Reprod. Fertil.* 32: 15-24.
- BRUN, J.M., AND OUHAYOUN, J. 1994. *Ann. Zootech.*, Qualités bouchères de lapereaux issus d'un croisement diallele de 3 souches: interaction du type génétique et de la taille de portée d'origine. 43: 173-183.
- CASTELLINI C. 2008. Semen production and management of rabbit bucks. Proceedings of the 9th World Rabbit Congress; Verona, Italy; 265-278.
- CASTELLINI C., CARDINALI R., DAL BOSCO A., MINELLI A., CAMICI O., 2005. Lipid composition of the main fractions of rabbit semen. *Theriogenology*, 65: 703-712.
- CHRETIEN, FR. CH. 1966. Étude de l'origine, de la migration et de la multiplication des cellules germinales chez l'embryon de lapin. *J. Embryol. Exp. Morph.* 16, 3: 591-607.
- COMBES S., GIDENNE T., CAUQUIL L., BOUCHEZ O., FORTUN-LAMOTHE L. 2014. Coprophagous behavior of rabbit pups affects implantation of cecal microbiota and health status. *J. Anim. Sci.*, 92: 652-665.
- COUDERT P., LEBAS F., LICOIS D. 1997. Une nouvelle pathologie ravage les élevages: la profession se mobilise. *Cuniculture*, 137: 225-229.
- COUREAUD G., SCHAAL B., COUDERT P., RIDEAUD P., FORTUN-LAMOTHE L., HUDSON R., ORGEUR P. 2000. Immediate postnatal sucking in the rabbit: Its influence on pup survival and growth. *Reprod. Nutr. Develop.*, 40: 19-32.
- COUREAUD G., FORTUN-LAMOTHE L., LANGLOIS D., SCHAAL B. 2007. The reactivity of neonatal rabbits to the mammary pheromone as a probe for viability *Animal*, 1: 1026-1032.
- DEBRAY L., LE HUEROU-LURON I., GIDENNE T., FORTUN-LAMOTHE L. 2003. Digestive tract development in rabbit according to the dietary energetic source: correlation between whole tract digestion, pancreatic and intestinal enzymatic activities *Comp Biochem Phys A*, 135: 443-455.
- DELTORO J., LÓPEZ A.M. 1985. Allometric changes during growth in rabbits. *J. Agr. Sci. Camb.* 105, 339-346.
- DRUMMOND, H., VAZQUEZ, E., SANCHEZ-COLON, S. 2000. Competition for milk in the domestic rabbits: Survivors benefit from littermate deaths. *Ethology*, 106:511-526.
- DUNCAN, S. L. B. 1969. The partition of uterine blood flow in the pregnant rabbit. *J. Physiol.* 204: 421-433.
- DU PLESSIS SS, CABLER S, MCALISTER DA, SABANEH E, AGARWAL A. 2010. The effect of obesity on sperm disorders and male infertility. *Nat. Rev. Urol.*, 7: 153-61.
- EIBEN CS., KUSTOS K., KENESSEY Á., VIRÁG GY., SZENDRŐ ZS. 2001. Effect of different feed restrictions during rearing on reproduction performance in rabbit does. *World Rabbit Sci.*, 9: 9-14.
- FEKI, S., BASELGA, M., BLAS, E., CERVERA, C. AND GÓMEZ, E. 1996. Comparison of growth and feed efficiency among rabbits lines selected for different objectives. *Livest. Prod. Sci.*, 45: 87-92.
- FERNANDEZ-CARMONA, J., BERNAT F., CERVERA C., PASCUAL, J.J. 1998. High lucerne diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 6: 237-240.
- FORTUN, L., PRUNIER, A., LEBAS, F. 1993. Effects of lactation on fetal survival and development in rabbits does mated shortly after parturition. *J. Anim. Sci.* 71: 1882-1886.
- FORTUNE, J. E. 1994. Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biol. of Reprod.* 50: 225-232.
- FRIGGENS, N.C., 2003. Body lipid reserve and the reproduction cycle: towards a better understanding. *Livest. Prod. Sci.* 83, 219- 236.
- GALLOIS M., GIDENNE T., FORTUN-LAMOTHE L., LE HUEROU-LURON I., LALLES J.P. 2005. An early stimulation of solid feed intake slightly influences the morphological gut maturation in the rabbit. *Reprod. Nutr. Develop.*, 45: 109-122.
- GARCÍA, M. L., M. BASELGA. 2002. Estimation of correlated response on growth traits to selection in litter size of rabbits using a cryopreserved control population and genetic trends. *Livest. Prod. Sci.* 78:91-98.
- GARREAU, H. SZENDRO, Z.S., LARZUL, C., ROCHAMBEAU, H. DE. 2000. Genetic parameters and genetic trends of growth and litter size traits in the White Pannon breed. In Proc 7th World Rabbit Congress, Valencia, Spain, vol. 1: 403-408.
- GARREAU H., BOLET G., LARZUL C., ROBERT-GRANIE C., SALEIL G., SANCRISTOBAL M., BODIN L. 2008. Results of four generations of a canalising selection for rabbit birth weight. *Livest. Sci.*, 119: 55-62.
- GARREAU, H., AND ROCHAMBEAU, DE H. 2003. La sélection des qualités maternelles pour la croissance du lapereau. In Proc. 10^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, Paris, France, 61-64.
- GIDENNE T., FEUGIER A. 2009. Feed restriction strategy in the growing rabbit. 1. Impact on digestion, rate of passage and microbial activity. *Animal*, 3: 501-508.
- GIDENNE T., JEHL N., SEGURA M., MICHALET-DOREAU B. 2002. Microbial activity in the caecum of the rabbit around weaning: impact of a dietary fibre deficiency and of intake level *Anim. Feed Sci. Technol.*, 99: 107-118.
- GIDENNE T., COMBES S., FEUGIER A., JEHL N., ARVEUX P., BOISOT P., BRIENS C., CORRENT E., FORTUNE H., MONTESSUY S., VERDELHAN S. 2009. Feed restriction strategy in the growing rabbit. 2. Impact on digestive health, growth and carcass characteristics. *Animal*, 3: 509-515.
- GIDENNE T., COMBES S., FORTUN-LAMOTHE L. 2012. Feed intake limitation strategies for the growing rabbit: effect on feeding behaviour, welfare, performance, digestive physiology and health: a review. *Animal*, 6: 1407-1419.
- GÓMEZ, E.A., RAFEL, O., RAMÓN, J. 1998. Genetic relationships between growth and litter size traits at first parity in a specialized dam line. In Proc. 6th World Congress Genetics Applied Livestock Production, Armidale, Australia. 25:552-555.
- HAZEZ, E. S. E. 1965. Quantitative aspects of implantation, embryonic survival and fetal development. *Int. J. Fertil.* 10: 235-251.
- HAMMOUD AO, GIBSON M, PETERSON CM, MEIKLE AW, CARRELL DT. 2008. Impact of male obesity on infertility: a critical review of the current literature. *Fertil. Steril.*, 90: 897-904.
- HAYWOOD S., PERRINS C.M. 1992. Is clutch size in birds affected by environmental conditions during growth? *Proceedings: Biological Sciences*, 249 (1325): 195-197.
- HIRSHFIELD A.N. 1991. Development of follicles in the mammalian ovary. *Int. Rev. Cytol.*, 124: 43-101.
- HOLT L.E., ALBANESI A.A. 1944. Observation of amino acids deficiencies in man. *Trans. Assoc. Am. Physicians.*, 58:143-156.
- HUCK U.W., LABOV J.B., LISK R.D. 1986. Food restricting young hamsters (*Mesocricetus auratus*) affects sex ratio and growth of subsequent offspring. *Biol. Reprod.*, 35: 592-598.
- JEULIN C., LEWIN L.M. 1996. Role of free L-carnitine and acetyl-L-carnitine in post-gonadal maturation of mammalian spermatozoa. *Hum. Reprod. Update*, 2: 87-102.
- JØRGENSEN B., SØRENSEN M.T. 1998. Different rearing intensities of gilts: II. Effects on subsequent leg weakness and longevity. *Livest. Sci.*, 54: 167-171.
- LEBAS, F. 1982. Influence de la position in utero sur le développement corporel des lapereaux. 3^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole. Paris. France.

- LEDIN I. 1984. Effect of restricted feeding and realimentation on compensatory growth, carcass composition and organ growth in rabbit *Ann. Zootech.*, 33: 33-55.
- LICOIS D., WYERS M., COUDERT P. 2005. Epizootic Rabbit Enteropathy: experimental transmission and clinical characterization *Vet. Res.*, 36: 601-613.
- LINDSTRÖM J. 1999. Early development and fitness in birds and mammals. *Trends Ecol. Evol.*, 14: 343-348.
- LUMMAA V. 2003. Early Developmental conditions and reproductive success in humans: Downstream effects of prenatal famine, birthweight, and timing of birth. *Am. J. Hum. Biol.*, 15: 370-379.
- LUZI F, MAERTENS L, MIJTEN P, PIZZI F. 1996. Effect of feeding level and dietary protein content on libido and semen characteristics of bucks. *Proceedings of the 6th World Rabbit Congress; Toulouse, France; 87-92.*
- MAERTENS L. 1992. Rabbit nutrition and feeding: a review of some recent developments. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15: 810-818.
- MAERTENS L. 1993. De voedingsbehoeften van konijnen voor de vleesproductie (Feed requirements for rabbits in commercial rabbit production). CVB-documentatie rapport nr. 8.
- MAERTENS L. 2010. Feeding systems for intensive production. In: De Blas C, Wiseman J, editors. *Nutrition of the Rabbit*, Wallingford, UK: CABI Publishing; 253-266.
- MANAL A.F., TONY M.A., EZZO O.H. 2010. Feed restriction of pregnant nulliparous rabbit does: consequences on reproductive performance and maternal behaviour. *Anim. Reprod. Sci.*, 120: 179-186.
- MARION G.B., GIER H.T. 1971. Ovarian and uterine embryogenesis and morphology of the non-pregnant female mammal. *J. Anim. Sci.*, 32 (Suppl 1): 24-47.
- MARTÍNEZ-PAREDES E. 2008. Efecto de diferentes modelos de alimentación para cría y gestación de conejas nulíparas sobre su vida productiva. Master Thesis. Master in Animal Production. Universitat Politècnica de València. Spain, 14.
- MARTÍNEZ-PAREDES E., SAVIETTO D., RÓDENAS L., ARIAS J.M., DOMINGUES V.S., DE JESÚS M.E., LLORENS J., LAVARA R., VICENTE J.S., PASCUAL J.J. 2009. Effect of development until rearing on seminal parameters in bucks. In *Proc.: XXXV Symposium de Cunicultura, 27-28 May, 2010. Segovia, Spain*, pp. 5.
- MARTÍNEZ-PAREDES E., RÓDENAS L., MARTÍNEZ-VALLESPÍN B., CERVERA C., BLAS E., BRECCHIA G., BOITI C., PASCUAL J.J. 2012. Effects of feeding programme on the performance and energy balance of nulliparous rabbit does. *Animal*, 6 (7): 1086-1095.
- MARTÍNEZ-PAREDES E., LLORENS J., RÓDENAS L., SAVIETTO D., PASCUAL J.J. 2015. Le développement précoce des lapins sélectionnés sur la vitesse de croissance affecte-t-il la production spermatique? *Proc. 16^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, Le Mans, France.*
- MARTÍNEZ-VALLESPÍN B., MARTÍNEZ-PAREDES E., RÓDENAS L., CERVERA C., PASCUAL J.J., BLAS E. 2011. Combined feeding of rabbit female and young: Partial replacement of starch with acid detergent fibre or/and neutral detergent soluble fibre at two protein levels *Livest. Sci.*, 141: 155-165.
- MATICS Zs., NAGY I., BIRO-NEMETH E., RADNAI I., GERENCSEK Zs., PRINCZ Z., SZENDRO Zs. 2008. Effect of feeding regime during rearing and age at first mating on the reproductive performance of rabbit does. *Proc. 9th World Rabbit Congress, Verona, Italy, 399-404.*
- MCEVOY T.G., ROBINSON J.J. 2003. Nutrition and its interaction with reproductive processes. In: *Reproductive science and integrated conservation*. Holt W.V., Pickard A.R., Rodger J.C., Wildt D.E. (ed). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 42-56.
- MC LAREN, A. 1965. Genetic and environmental effects on fetal and placental growth in mice. *J. Reprod. Fertil.* 9: 79-88.
- MESA, H., SAFRANSKI, T. J., CAMMACK, K. M., WEABER, R. L., LAMBERSON. W. R. 2006. Genetic and phenotypic relationships of farrowing and weaning survival to birth and placental weights in pigs. *J. Ani. Sci.* 84: 32-40.
- METCALFE N.B., MONAGHAN P. 2001. Compensation for a bad start: grow now, pay later? *Trends Ecol. Evol.*, 16: 254-260.
- MINGUEZ, C., SÁNCHEZ, J.P., RAGAB, M., EL NAGAR, A.G., BASELGA, M. 2012. Growth traits in four maternal rabbit lines. In *Proc. 10th World Rabbit Congress, Sharm El-Sheikh, Egypt, 55-59.*
- MOCÉ E, AROCA M, LAVARA R, PASCUAL JJ. 2000. Effect of dietary zinc and vitamin supplementation on semen characteristics of high growth rate males during summer season. *Proc 7th World Rabbit Congress, Valencia, Vol A, 203-209.*
- MOCÉ, M. L., SANTACREU, M. A., CLIMENT, A., BLASCO, A. 2004. The effect of divergent selection for uterine capacity on fetal and placental development at term in rabbits: Maternal and embryonic genetic effects. *J. Anim. Sci.* 82: 1046-1052.
- MOSCHOS, S., CHAN, J.L., MANTZOROS, C.S., 2002. Leptin and reproduction: a review. *Fertil. Steril.* 77, 433-444. doi:10.1016/S0015-0282(01)03010-2
- NICODEMUS N., FERNÁNDEZ B., MILLÁN P., PEREDA N., LORENZO P.L., REBOLLAR P.G. 2007. Parámetros productivos y niveles plasmáticos de leptina en conejas sometidas a diferentes pautas de alimentación durante la cría. *ITEA. Vol. Extra 28, Tomo I, 75-77.*
- NIZZA A., DI MEO C., ESPOSITO L. 1997. Influence of the diet used before and after the first mating on reproductive performance of rabbit does. *World Rabbit Sci.*, 5: 107-110. doi:10.4995/wrs.1997.327
- NIZZA A, DI MEO C, TARANTO S. 2000. Influence of dietary protein content on libido and semen characteristics of bucks. *Proc. 7th World Rabbit Congress; Valencia, Spain; Vol A, 217-224.*
- OUHAYOUN J. 1989. La composition corporelle du lapin. *INRA Prod. Anim.*, 2: 216-226.
- O'DOWD S., HOSTE S., MERCER J.T., FOWLER V.R., EDWARDS S.A. 1997. Nutritional modification of body composition and the consequences for reproductive performance and longevity in genetically lean sows. *Livest. Prod. Sci.*, 52: 155-165.
- PARTRIDGE G.G. 1986. Meeting the protein and energy requirement of the commercial rabbit for growth and reproduction. In *Proc.: 4th World Congress of Animal Feeding, Madrid, Spain, 9: 271-556.*
- PASCUAL J.J. 2002. Nutrición de machos destinados a inseminación artificial. *Proc. II Jornadas Internacionais de Cunicultura APEZ, Vila Real, Portugal, 197-212.*
- PASCUAL J.J., CERVERA C., FERNÁNDEZ-CARMONA J. 2002. A feeding programme for young rabbit does based on lucerne. *World Rabbit Sci.*, 10: 7-13.
- PASCUAL, J.J., CERVERA, C., BLAS, E., FERNANDEZ-CARMONA, J., 2003. High energy diets for reproductive rabbit does: effect of energy source. *Nutrition Abstracts and Reviews. Series B: Livestock Feeds and Feeding* 73:27R-39R.
- PASCUAL J.J., GARCÍA C., MARTÍNEZ E., MOCÉ E., VICENTE J.S. 2004. Rearing management of rabbit males selected by high growth rate: the effect of diet and season on semen characteristics. *Reprod. Nutr. Dev.* 44, 2004 :49-63.
- PASCUAL J.J., SAVIETTO D., CERVERA C., BASELGA M. 2013. Resources allocation in reproductive rabbit does: a review of feed and genetic strategies for suitable performance. *World Rabbit Sci.* 21:123-144.
- PASCUAL J.J., MARCO-JIMÉNEZ F., MARTÍNEZ-PAREDES E., RÓDENAS L., MARTÍNEZ-TALAVÁN A., FABRE C., MARTÍN E., JUVERO M.A., CANO J.L. 2015a. El uso de programas de alimentación en conejos reproductores que regulan la ingestión reduce las anomalías espermatocíticas y mejora la fertilidad. *Proc. XL Symposium de Cunicultura ASESCU, Santiago de Compostela, Spain, 70-74.*

- PASCUAL J.J., MARCO-JIMÉNEZ F., MARTÍNEZ-PAREDES E., RÓDENAS L., FABRE C., JUVERO M.A., CANO J.L. 2015b. Feeding programs promoting daily feed intake stability in rabbit males reduce sperm abnormalities and improve fertility. *Theriogenology* (submitted).
- PASCUAL M., SOLER M.D., CERVERA C., PLA M., PASCUAL J.J., BLAS E. 2014. Feeding programmes based on highly-digestible fibre weaning diets: Effects on health, growth performance and carcass and meat quality in rabbits. *Livest. Sci.*, 169: 88-95.
- PEREDA N.L. 2010. Evaluación de la técnica del análisis de impedancia bioeléctrica para predecir la composición corporal: aplicación en conejas sometidas a diferentes sistemas de alimentación durante la recría. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Madrid. Spain, pp. 196.
- PERRY, J. S., ROWELL, J. G. 1969. Variation in foetal weight and vascular supply along the uterine horn of the pig. *J. Reprod. Fert.* 19: 527-534.
- PHILLIPS D.I., HANDELSMAN D.J., ERIKSSON J.G., FORSÉN T., OSMOND C., BARKER D.J. 2001. Prenatal growth and subsequent marital status: longitudinal study. *BMJ*, 322 (7289): 771-771.
- POIGNER, J., SZENDRO, Zs., LEVAI, A., BIRO-NEMETH E., RADNAI. 2000a. Weight of new-born rabbits in relation to their number and position within the uterus in unilaterally ovariectomised does. *Proc. 7th World Rabbit Congress, Valencia, Spain*. 231-237.
- POIGNER J., SZENDRŐ Zs., LÉVAI A., RADNAI I., BIRÓ-NÉMETH E. 2000b. Effect of birth weight and litter size on growth and mortality in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 8: 17-22.
- QUESNEL, H., BROSSARD, L., VALANCOGNE, A., QUINIOU, N. 2008. Influence of some sow characteristics on within-litter variation of piglet birth weight. *Animal*, 2: 1842-1849.
- QUEVEDO F., CERVERA C., BLAS E., BASELGA M., COSTA C., PASCUAL J.J. 2005. Effect of selection for litter size and feeding programme on the performance of young rabbit females during rearing and first pregnancy. *Anim. Sci.* 80: 161-168. doi:10.1079/ASC40850161
- QUEVEDO F., CERVERA C., BLAS E., BASELGA M., PASCUAL J.J. 2006. Long-term effect of selection for litter size and feeding programme on the performance of reproductive rabbit does. 1. Pregnancy of multiparous does. *Anim. Sci.*, 82: 739-750. doi:10.1079/ASC200687
- REBOLLAR P.G., MILLÁN P., SCHWARZ B.F., PEREDA N., MARCO., LORENZO P.L., NICODEMUS N. 2008. Young rabbit does fed with fibrous diet during rearing: serical and productive parameters. *Proc. 9th World Rabbit Congress, Verona, Italy*, 431-436.
- REBOLLAR P.G., PEREDA N., SCHWARZ B.F., MILLAN P., LORENZO P.L., NICODEMUS N. 2011. Effect of feed restriction or feeding high-fibre diet during the rearing period on body composition, serum parameters and productive performance of rabbit does. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 163: 67-76.
- ROCHAMBEAU, H DE. 1998. La femelle parentale issue des souches expérimentales de l'INRA évolutions génétiques et perspectives. *Proc. 7^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, Lyon, France*, 3-14.
- ROLDAN E.R.S., HARRISON R.A.P. 1993. Diacylglycerol in the esocytosis of the mammalian sperm acrosome. *Biochem Soc Trans*, 21: 284-9.
- ROMERO C., NICODEMUS N., GARCÍA-REBOLLAR P., GARCÍA-RUIZ A.I., IBÁÑEZ M.A., DE BLAS J.C. 2009. Dietary level of fibre and age at weaning affect the proliferation of *Clostridium perfringens* in the caecum, the incidence of Epizootic Rabbit Enteropathy and the performance of fattening rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 153: 131-140.
- ROMERO C., CUESTA S., ASTILLERO J.R., NICODEMUS N., DE BLAS C. 2010. Effect of early feed restriction on performance and health status in growing rabbits slaughtered at 2 kg live-weight. *World Rabbit Sci.*, 18: 211-218.
- ROMMERS, J.M.; KEMP, B., MEIJERHOFF, R., NOORDHUIZEN, J.P.T.M. 2001. The effect of litter size before weaning on subsequent body development, feed intake, and reproductive performance of young rabbits does. *J. Anim. Sci.* 79:1973-1982.
- ROMMERS J.M., MEIJERHOF R., NOORDHUIZEN J.P.T.M., KEMP B. 2002. Relationships between body weight at first mating and subsequent body development, feed intake and reproductive performance of rabbit does. *J. Anim. Sci.*, 80: 2036-2042.
- ROMMERS J.M., MEIJERHOF R., NOORDHUIZEN J.P.T.M., KEMP B. 2004a. Effect of feeding program during rearing and age at first insemination on performances during subsequent reproduction in young rabbit does. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44: 321-332.
- ROMMERS J.M., BOITI C., BRECCHIA G., MEIJERHOF R., NOORDHUIZEN J.P.T.M., DECUYPERE E., KEMP B. 2004b. Metabolic adaptation and hormonal regulation in young rabbit does during longterm caloric restriction and subsequent compensatory growth. *Anim. Sci.*, 79: 255-264.
- SÁNCHEZ J.P., THEILGAARD P., MINGUEZ C., BASELGA M. 2008. Constitution and evaluation of a long-lived productive rabbit line. *J. Anim. Sci.*, 86: 515-525.
- SAVIETTO D., RÓDENAS L., MARTÍNEZ-PAREDES E., ESTEVE J.M., VILLALBA C., FABRE C., BLAS E., CERVERA C., PASCUAL J.J. 2010. Effect of birth weight and rearing diet on the development and reproduction of rabbit does. In *Proc.: XXXV Symposium de Cunicultura, 27-28 May, 2010. Segovia, Spain*, pp. 5
- SAVIETTO D., MARTÍNEZ-PAREDES E., RÓDENAS L., BASELGA M., CERVERA C., BLAS E., PASCUAL J.J. 2012. Rearing diet strategy and productive longevity of crossbred rabbit does. In *Proc.: 10th World Rabbit Congress, 3-6 September, 2012. Sharm El-Sheikh, Egypt*, 541-545.
- SAVIETTO D., CERVERA C., BLAS E., BASELGA M., LARSEN T., FRIGGENS N.C., PASCUAL J.J. 2013. Environmental sensitivity differs between rabbit lines selected for reproductive intensity and longevity. *Animal*, 7: 1969-1977.
- SAVIETTO D., FRIGGENS N.C., PASCUAL J.J. 2015. Reproductive robustness differs between generalist and specialist maternal rabbit lines: the role of acquisition and allocation of resources. *Genet. Select. Evol.* 47(2): 1-11.
- SZENDRŐ Zs., GYARMATI T., MAERTENS L., BIRÓ-NÉMETH E., RADNAI I., MILISITS G., MATICS Zs. 2002. Effect of nursing by two does on the performance of suckling and growing rabbits. *Anim. Sci.*, 74: 117-125.
- SZENDRŐ Zs., GYOVAI M., MAERTENS L., BIRÓ-NÉMETH E., RADNAI I., MATICS Zs., PRINCZ Z., GERENCSÉR Zs., HORN P. 2006. Influence of birth weight and nutrient supply before and after weaning on the performance of rabbit does to age of the first mating. *Livest. Sci.*, 103: 54-64.
- TARRES J., TIBAU J., PIEDRAÏTA J., FABREGA E., REIXACH J. 2006. Factors affecting longevity in maternal Duroc swine lines. *Livest. Sci.*, 100: 121-131.
- THEILGAARD P., SÁNCHEZ J.P., PASCUAL J.J., FRIGGENS N.C., BASELGA M., 2006. Effect of body fatness and selection for prolificacy on survival of rabbit does assessed using a cryopreserved control population. *Livest. Sci.*, 103: 65-73. doi:10.1016/j.livsci.2006.01.007
- TUMOVA E., ZITA L., SKRIVANOVA V., FUCIKOVA A., SKRIVAN M., BURESOVA M. 2007. Digestibility of nutrients, organ development and blood picture in restricted and ad libitum fed broiler rabbits. *Archiv Fur Gefugelkunde*, 71: 6-12.
- VERDELHAN S., BOURDILLON A., DAVID J.J., HUIRTAUD J.J., LÉDAN L., RENOUF B., ROULLEAU X., SALAUN J.M. 2005. Comparaison de deux programmes alimentaires pour la préparation des futures reproductrices. *Proc.: 11^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 November, 2005. Paris, France*, 119-122.
- VICENTE, J. S., GARCIA-XIMENEZ, F., VIUDES DE CASTRO, M. P. 1995. Neonatal performance in 3 lines of rabbits (litter sizes, litter and individual weights). *Ann. Zootech.* 44: 255-261.
- VIUDES-DE-CASTRO, P., M. A. SANTACREU, J. S. VICENTE. 1991. Effet de la concentration énergétique de l'alimentation sur les pertes embryonnaires et foetales chez la lapine. *Reprod. Nutr. Dev.* 31: 529-534.

- WADE G.N., SCHNEIDER J.E. 1992. Metabolic fuels and reproduction in female mammals. *Neurosci. Biobehav. R.*, 16: 235-272.
- WALDORF, D. P., FOOTE, W. C., SELF H. L., CHAPMAN, A.B., CASIDA, L. E. 1957. Factors affecting fetal pig weight late gestation. *J. Anim. Sci.* 16: 976-985.
- WIRTH-DZIRCIOLOWSKA, E. 1987. Survival of embryos in relation to the vasculature of implantation places in laboratory mice. *Genetica Polonica* 28: 127-130.
- WISE, T., ROBERTS, A.J., CHRISTENSON, R.K. 1997. Relationships of light and heavy fetuses to uterine position, placental weight, gestational age and fetal cholesterol concentrations. *J. Anim. Sci.* 75, 2197-2204.
- XICCATO, G., 1996. Nutrition of lactating does. In Proc.: 6th World Rabbit Congress, 9-12 July, 1996. Toulouse, France, Vol. 1, 29-47.
- XICCATO, G., BERNARDINI, M., CASTELLINI, C., DALLE ZOTTE, A., QUEAQUE, P.I., TROCINO, A., 1999. Effect of postweaning feeding on the performance and energy balance of female rabbits at different physiological states. *J. Anim. Sci.* 77:416-426.
- YAMAMOTO Y., SHIMAMAMOTO K., SOFUKITIS N., MIYAGAWA I. 1999. Effect of hypercholesterolemia on Leydig and Sertoli cell secretory function and the overall sperm fertilizing capacity in the rabbit. *Human Reprod.*, 14: 1516-1521.