

Efficacité alimentaire en cuniculture : voies d'améliorations, impacts technico-économiques et environnementaux

Thierry GIDENNE¹, Hervé GARREAU¹, Luc MAERTENS², Laurence DROUILHET¹

¹GenPhySE, Université de Toulouse, INRA, ENVT, F-31326, Castanet Tolosan, France

²ILVO, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, B-9090, Melle, Belgique

Courriel : thierry.gidenne@inra.fr

■ La viabilité d'un élevage s'améliore avec la réduction de ses coûts de production, dont le coût alimentaire en est le premier poste (60 % en cuniculture conventionnelle). Améliorer l'efficacité alimentaire est donc un objectif économique majeur, mais aussi un enjeu environnemental. Plusieurs voies d'amélioration sont proposées (gestion sanitaire, stratégie d'alimentation, génétique), pour réduire l'indice de consommation global (ou ICg) d'un atelier cunicole de 3,4 à 3,0 dans les 10 prochaines années¹.

Introduction

Les éleveurs ont toujours essayé d'améliorer l'efficacité de leur production, *via* la maîtrise des différents coûts de production (alimentation, logement des animaux, intrants vétérinaires...), pour maintenir ou améliorer leur rentabilité. Les évolutions actuelles vers une agriculture durable incluent des objectifs supplémentaires de préservation des ressources naturelles, de maîtrise d'un environnement sain et d'amélioration du bien-être des animaux et des producteurs (Niemann *et al.*, 2011 ; Connor, 2015). Le coût des aliments pour les animaux est le premier poste de charge dans un élevage, puisqu'il représente entre 40 et 60 % des coûts de production totaux ; il peut même atteindre 70 % des coûts totaux en fonction des investissements (logements, alimentation automatique...). En 2017, pour la cuniculture conventionnelle

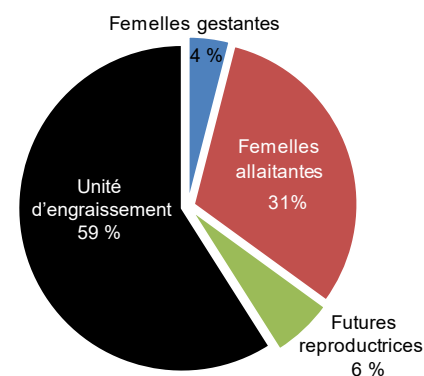
française, le coût alimentaire représentait 51 % du prix de vente d'un lapin (Lebas, 2018).

La cuniculture conventionnelle est une production en claustration de type naisseur-engraisseur, avec usage de l'insémination artificielle et d'une gestion de la reproduction en bande sous un cycle productif de 6 semaines (Théau-Clément *et al.*, 2015). Dans ces systèmes cunicoles, environ 1/3 de l'aliment est consommé par les femelles en lactation (figure 1), 10 % par les femelles futures-reproductrices et celles non allaitantes et 59 % par les lapins en croissance (Maertens, 2010).

De nombreuses données d'Efficacité Alimentaire (EA) sont disponibles pour les lapins en engraissement, mais peu de données sont disponibles pour les femelles reproductrices et leurs portées (avant sevrage). Néanmoins en France,

l'Institut Technique de l'Aviculture (ITAVI) compile les données annuelles de Gestion Technico-Économique (GTE) des ateliers cunicoles, ce qui permet d'analyser leur EA.

Figure 1. Consommation relative d'aliment dans un atelier cunicole conventionnel en bande, avec sevrage à 35 jours et cycle productif de 42 jours (extrait de Maertens, 2010).



1 Cet article est une mise à jour et une adaptation d'une synthèse publiée par Gidenne *et al.* (2017) dans la revue « *Animal Feed Science and Technology* ».

De nombreux facteurs contribuent à l'amélioration de l'EA. Par exemple, les paramètres de logement (densité, parcours extérieur...) et d'ambiance de l'élevage (température) influencent fortement les performances de croissance et de reproduction et donc l'EA globale. Ainsi, un engraissement conduit en cages individuelles ou de deux (système Italien) permettrait d'améliorer l'ICg de 5 à 10 %, comparativement à des cages de 6 à 8 lapereaux (Trocino *et al.*, 2015). En cuniculture conventionnelle, les variations de densité entre fermes, habituellement autour de 15 lapins/m², peuvent expliquer de 5 à 6 % des variations d'ICg (Verspecht *et al.*, 2011). En revanche, dans le cas d'un engraissement en parcs, ou en extérieur, ou au sol, on doit s'attendre à une détérioration sensible de l'ICg. De même, l'indice de consommation en engraissement est dégradé de plus de 15 %, pour une température de 30°C (4,84) comparé à une température de 18°C (4,22 ; Eberhart, 1980).

Cependant, les facteurs majeurs de contrôle de l'EA sont : la gestion sanitaire (limitation des pertes d'animaux et de la morbidité), la conduite d'élevage (efficacité de la reproduction, âge à la vente...), le potentiel génétique des

animaux, la qualité de l'aliment et la stratégie de distribution. Notre revue sera donc limitée à l'impact de ces facteurs primaires sur l'EA, ainsi qu'à l'effet de l'EA sur les impacts environnementaux de l'atelier cunicole.

1. Efficacité alimentaire : définitions et rappels généraux

La littérature rapporte deux manières de calculer l'efficacité alimentaire : i) l'indice de consommation (IC ; en anglais : « *feed/gain ratio* » ou « *feed conversion ratio* ») qui est le ratio entre quantité d'aliment consommé (kg) et quantité de production (kg de lapin) pour une période de temps donnée ; ii) l'indice d'efficacité alimentaire (« *feed efficiency index* »), souvent exprimé en % et qui est l'inverse de l'IC. Bien que ce dernier exprime mieux la notion d'efficacité, il est cependant peu utilisé en France par les professionnels de l'élevage.

Pour l'unité d'engraissement, le rapport entre la consommation d'aliment des animaux (inclus ceux qui meurent durant la période considérée où qui sont morbides, donc non commercialisables)

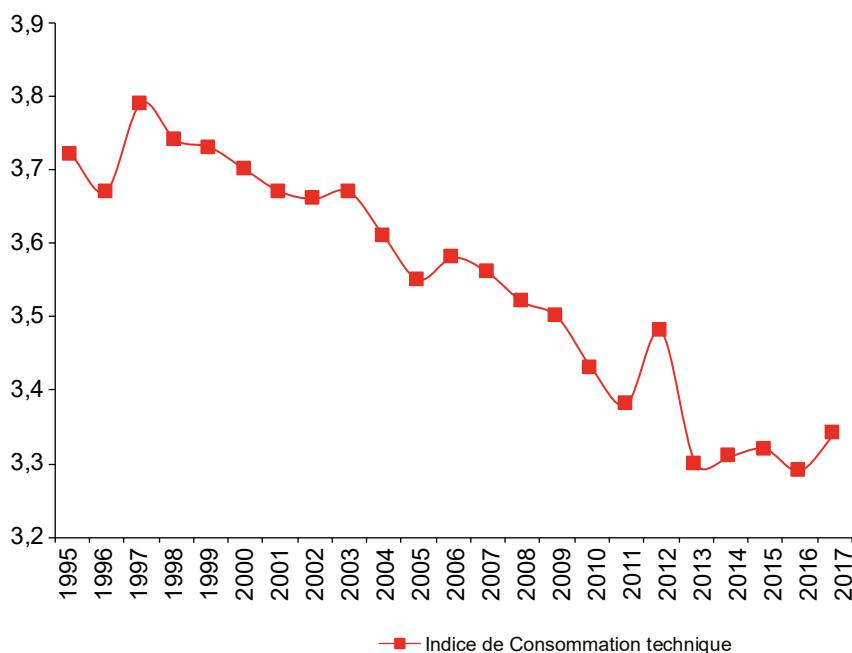
et le poids vif d'animaux produits pour la vente, correspond à l'indice de consommation économique (ICE). En unité de maternité, l'ICE est obtenu en divisant la quantité d'aliment consommée par la mère et sa portée, par le poids vif des jeunes lapins produits (y compris le poids des femelles vendues). Si les pertes d'animaux ne sont pas prises en compte, on calcule un IC technique (ICt), qui traduit l'efficacité alimentaire en termes d'utilisation des nutriments pour la synthèse des tissus (muscle, os...). Bien sûr, l'ICt est généralement inférieur à l'ICE. Si les animaux sont hébergés en groupe, on estime l'ICt en retirant de la consommation totale celle des lapins morts, et en supposant qu'ils n'ont pas mangé pendant les deux jours précédant la mort (Gidenne, 1995).

■ 1.1. Efficacité alimentaire globale en élevage cunicole

Le paramètre d'EA le plus largement utilisé en pratique est celui qui concerne l'atelier cunicole global, soit l'unité maternité (incluant les futures reproductrices) et l'unité d'engraissement. Cet EA globale, est estimée par le rapport entre la masse d'aliment acheté (consommé par tous les animaux) et la masse de lapins produits (donc vendus). Cet indice de consommation économique global (ICg) est donc un paramètre très utile d'un point de vue pratique et économique, quel que soit le système d'élevage, car il permet de mesurer le niveau technique global de l'exploitation et son efficacité.

Ainsi, l'ICg des élevages cuniques français montre une réduction linéaire jusqu'en 2013, où il passait sous le seuil de 3,3 (figure 2). Pour mémoire, cet ICg était de 4,8 en 1981. Cependant, l'ICg est très variable selon les ateliers, comme l'indique la figure 3 : à partir des résultats GTE de 2006, environ 60 % des ateliers ont un ICg entre 3,2 et 3,8. Cet ICg est fortement influencé par deux facteurs : le nombre de lapereaux vendus par femelle, et le poids à l'abattage. A mortalité identique (10 %), l'effet cumulé de ces deux facteurs produit une hausse de l'ICg de 3,07 à 4,03 (tableau 1 : + 31 %). Le poids du coût alimentaire dans le résultat économique de l'exploitation va donc varier selon

Figure 2. Évolution de l'indice de consommation économique (ICg) des élevages cuniques Français* (source ITAVI).



*résultats « Renaceb », pour des systèmes conventionnels en bande avec sevrage à 35 jours et cycle productif de 42 jours.

l'ICg. En moyenne en 2006, l'IC avait un poids de 30 % sur la variation de la marge sur coût alimentaire, contre 54 % pour le nombre de kilos vendus par IA, 9 % pour le prix de l'aliment et 7 % pour le prix de vente (Jentzer, 2009).

Pour comparaison, en 2006, les ICg mesurés sur des exploitations cunicoles espagnoles ou italiennes étaient de 3,63 et 3,82 respectivement (Rosell and González, 2009 ; Xiccato *et al.*, 2007), et de 3,58 en France (Lebas, 2007). Comme l'IC augmente avec l'âge de l'animal (figure 4), le plus fort ICg observé en Italie provient essentiellement de la durée d'élevage plus longue (abattage à 80 j, à un poids de 2,7 kg).

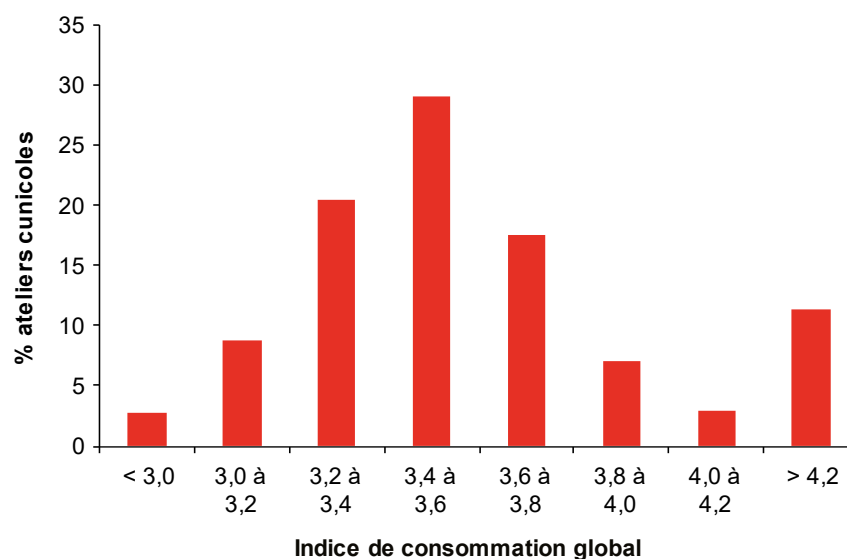
■ 1.2. Efficacité alimentaire en unité de maternité

Actuellement, on dispose de très peu de données d'élevage qui mesurent correctement l'IC en maternité. Il est néanmoins possible de faire un calcul théorique, comme celui présenté dans le **tableau 2** (Maertens et Van Gaver, 2010 ; Maertens *et al.*, 2013). Durant la lactation, les lapines et leurs portées consomment en moyenne 18,5 kg d'aliment, auquel s'ajoute : la consommation en dehors de la période de lactation (du sevrage à la mise bas suivante, soit 110 jours/an), et la consommation des femelles nullipares et les futures reproductrices. Notre calcul suppose une productivité assez élevée de 7,3 portées/femelle/an et de 8,5 lapereaux sevrés par portée.

Ainsi, l'IC économique d'une unité maternité « très productive » (62 sevrés/femelle/an) est seulement de 2,79. Mais, cet IC augmente de 18 % (3,31) pour une productivité inférieure de 10 lapereaux sevrés par an (**tableau 3**), ce qui souligne l'importance de la bonne gestion sanitaire et de la reproduction. À cela s'ajoute la hausse d'ICg de l'élevage, si on observe des pertes de lapereaux après sevrage : par exemple pour 10 % de pertes, l'ICg de l'atelier va augmenter de 10 % à 14 % selon le niveau productif de la maternité (**tableau 3**).

Une autre façon d'estimer l'efficacité alimentaire de l'unité « maternité » consiste à exclure les effets du

Figure 3. Variabilité de l'indice de consommation global selon les ateliers cunicoles* (source ITAVI).



*résultats Renaceb 2006 pour des systèmes conventionnels en bande avec sevrage à 35 jours et cycle productif de 42 jours.

Tableau 1. Variation de l'IC global selon l'efficacité de production appréciée par le nombre de lapereaux vendus par femelle et par an (NLVF) et le poids vif à l'abattage (PVAAb) (adapté de Maertens *et al.*, 2005).

PVAAb	Nombre de lapereaux vendus par femelle et par an (NLVF)			
	40	45	50	55
2,00	3,64	3,39	3,21	3,07
2,25	3,79	3,53	3,34	3,19
2,50	4,03	3,75	3,55	3,39

Tableau 2. Calculs d'indice de consommation économique pour une unité de 100 lapines reproductrices (d'après Maertens, 2010).

Consommation d'aliment (kg pour 100 lapines /an)		Lapins produits (kg vif pour 100 lapines /an)	
Lapines allaitantes : 18,5 kg/portée x 7,3 portées/♀	13 505	Lapereaux sevrés : 8,50 sevrés/portée x 7,3 portées x 1 kg*/♀	6 200
Lapines gestantes : 110 j x 160 g/j/♀	1 760	Lapines de réforme : 50 ♀ x 3 kg vif	150
Futures reproductrices : 45 ♀ x 365 j x 150g/j	2 464		
Total	17 729	Total	6 350
Indice de consommation de l'unité maternité = 2,79			

*poids au sevrage

Tableau 3. Variation de l'indice de consommation économique en unité de maternité, selon les performances reproductives et la mortalité après sevrage (adapté de Maertens et al. (2005).

Pertes de lapereaux après sevrage (%)	Nombre de lapereaux sevrés/femelle/an		
	62	57	52
0	2,79	3,03	3,31
5	2,93	3,27	3,59
10	3,09	3,45	3,79
15	3,27	3,66	4,01

renouvellement et de la mortalité et à calculer un IC technique (ICt). Ainsi, en élevage expérimental, et dans le cadre d'une étude multicentrique (répétition d'un même essai dans plusieurs sites) l'ICt est de l'ordre de 1,90 pour un troupeau mené en rythme à 42 j avec un sevrage à 35 j (et portées égalisées à 10, avec une mortalité pré-sevrage de 3,6 % pour les lapereaux) dans le cas d'un régime témoin (Fortun-Lamothe *et al.*, 2006), et de 2,05 si l'aliment est plus riche en fibres. Ces chiffres démontrent la forte efficacité productive d'une lapine. En parallèle, la portée consomme 4,2 kg d'aliment entre 18 et 35 j (sevrage), soit 34 % de la consommation de la femelle (12,2 kg de la mise bas au sevrage). Après sevrage (de 35 à 70 j d'âge) les lapereaux présentaient un IC de 3,20 (hors mortalité) soit une consommation totale de 35,8 kg pour une portée de 10 lapereaux. Ainsi, sans tenir compte de la mortalité ni du renouvellement, l'ICt n'est que de 2,57 ; et la proportion d'aliment consommé (femelle et portée) représente 30 % de la consommation totale d'aliment (52,2 kg). En outre, les femelles non gestantes devraient avoir une alimentation restreinte, afin de limiter les excès de poids pouvant nuire aux performances reproductives du cycle suivant (Pascual *et al.*, 2003). En effet, une surconsommation de 10 g / jour augmente de 2 à 3 % l'ICe de la maternité (tableau 3).

Plus globalement, retenons que la part de l'aliment consommé en maternité est de 40 à 45 %, contre 55 à 60 % en engraissement, dans le cas d'un système conventionnel (bande + cycle

reproductif à 42 jours + sevrage 35 j) ayant une production de 50 lapereaux vendus par femelle et par an. Si on compare avec les systèmes porcins, la part relative de l'aliment ingéré par les truies est bien moindre (16 % du total), tandis que celle des porcelets sevrés (8-31 kg : 13 %) et des porcs en engraissement (31-110 kg : 71 %) est bien supérieure (IFIP, 2017).

■ 1.3. Efficacité alimentaire en unité d'engraissement

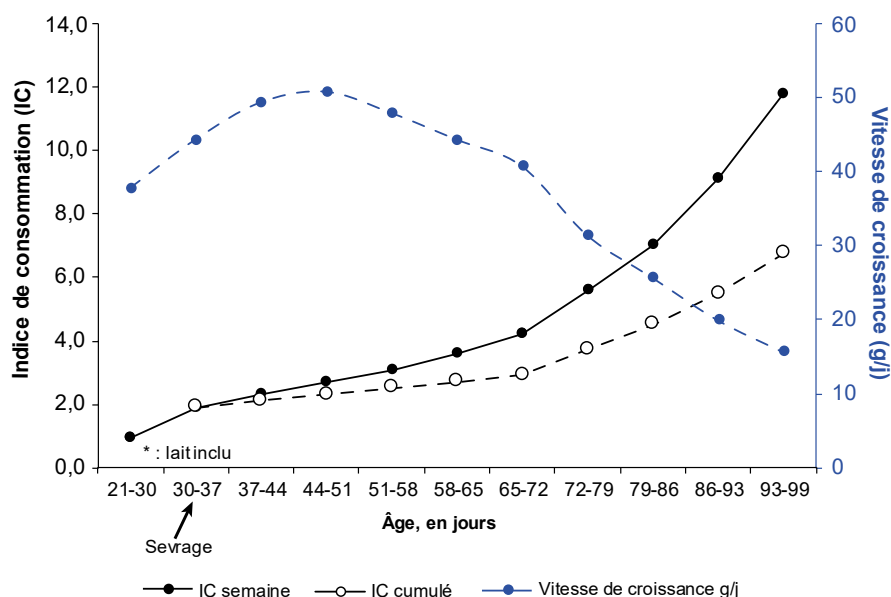
L'indice de consommation du lapin en croissance augmente logiquement avec l'âge, et de manière linéaire entre

le sevrage (30 j) et 10 semaines d'âge (figure 4). Les besoins d'entretien d'un lapin plus âgé (au-delà de 2,0 kg de poids vif) deviennent proportionnellement plus élevés que les besoins de croissance, bien que l'allométrie de dépôt des tissus devienne forte pour les tissus adipeux (à fort coût énergétique de synthèse). Ainsi, à partir de 2 mois d'âge, l'IC s'élève (> 3,25), et entre 11 et 15 semaines d'âge, la vitesse de croissance se réduit fortement (30 à 10 g/j) tandis que l'ingestion d'aliment reste stable (env. 180 g/j), aboutissant à une hausse forte de l'IC (de 4 à 8).

Chez le lapin, aucune différence d'IC n'est détectée entre les mâles et les femelles jusqu'au poids d'abattage habituel (entre 2,3 et 2,7 kg, soit 60 à 70 % du poids adulte ; Trocino *et al.*, 2015). Au-delà de ce stade, les femelles ont un IC dégradé en raison d'un plus fort dépôt de tissu adipeux (Cantier *et al.*, 1969).

Pour mieux apprécier les qualités nutritionnelles d'un aliment, il convient de calculer l'indice de consommation énergétique ou conversion énergétique (MJ ED/ kg gain), qui correspond à la quantité d'énergie digestible (MJ ED) consommée divisée par le gain de poids entre le sevrage et l'abattage (Perez

Figure 4. Évolution de l'indice de consommation chez le lapin en croissance, en condition conventionnelle d'élevage avec sevrage à 30 jours* (adapté de Maertens, 2009).



* Entre 21 et 30 jours d'âge, le lapereau consomme aussi le lait maternel.

Tableau 4. Impact de la mortalité et de l'âge lors de la mort sur l'indice de consommation en unité d'engraissement.

Âge lors de la mort	Taux de mortalité (%) après sevrage				
	0	5	10	15	20
5 semaines	2,72	2,74	2,76	2,78	2,81
7 semaines	2,72	2,78	2,85	2,92	3,00
9 semaines	2,72	2,86	3,02	3,20	3,43

et al., 2000 ; Gidenne et al., 2005). Par exemple, en période de post sevrage (30-49 j d'âge) où l'IC technique est entre 2,1 et 2,3, la conversion énergétique se situe entre 22 et 26 MJ ED/kg gain. En période de finition (50 à 72 j), ces valeurs sont de 3,6 à 3,9 pour l'IC et de 42 à 46 MJ/kg pour la conversion énergétique. La meilleure EA observée en période de post-sevrage est à rapprocher de la meilleure efficacité de digestion observée à cet âge pour l'ensemble des nutriments (ou matière organique) : 75 à 80 % (entre 5 et 6 semaines d'âge) contre 65 à 70 % entre 7 et 8 semaines d'âge (Gidenne et Fortun-Lamothe, 2002).

■ 1.4. Impacts de la mortalité et de la morbidité sur l'efficacité alimentaire

Le statut sanitaire de l'élevage (maternité et engraissement) affecte bien évidemment l'IC global de l'atelier, que ce soit en termes de mortalité (animaux ayant consommé des aliments sans production) ou de morbidité (animaux à faible performance et faible valeur économique), ce dernier point étant plus difficile à estimer. Les pertes en engraissement ont des conséquences sur l'ICe de l'unité de maternité, car les lapereaux qui meurent ont consommé de l'aliment avant le sevrage. En outre, en raison du plus faible nombre de lapins vendus, la contribution relative de la consommation d'aliment du troupeau reproducteur augmente. Dans le [tableau 4](#), l'effet des pertes post-sevrage sur l'ICe dans l'unité de maternité est présenté pour différents niveaux de production (Maertens, 2010). Pour 10 % de pertes post-sevrages, l'ICe augmente jusqu'à 3,45 pour une productivité de

57 lapereaux/femelle/an. Une simple hausse de 5 lapereaux/femelle/an améliore l'IC de 11 %. Une hausse simultanée de 5 lapereaux sevrés et une diminution de 5 % de la mortalité post-sevrage se traduit par une amélioration d'ICe de 18 % (e.g. 3,45 à 2,93).

L'impact de la mortalité sur l'ICe est logiquement proportionnel à l'âge auquel elle se produit ([tableau 4](#), Maertens, 2010). Si la mortalité survient au stade précoce d'engraissement, l'ICe est moins dégradé par rapport à une mortalité tardive : par exemple, à la fin de la période d'engraissement, l'IC sera de 11 et 26 % plus élevé pour un taux de mortalité de 10 et 20 %, respectivement.

2. Facteurs alimentaires et nutritionnels modifiant l'efficacité alimentaire

■ 2.1. Qualité nutritionnelle de l'aliment

a. Effets de la concentration énergétique et des apports de fibres

Globalement, en tant que monogastrique, l'efficacité alimentaire du lapin en croissance s'améliore avec la concentration en Énergie Digestible (ED) de l'aliment. S'il est nourri librement, le lapin ajuste sa consommation d'aliment pour maintenir son ingéré d'énergie digestible ([figure 5](#)), tant que la concentration énergétique de l'aliment est entre 1910 et 2975 kcal d'ED/kg et qu'il n'y a pas d'apport de lipides (Xiccato et Trocino, 2010b), ce qui correspond à une variation de 10 à 25 % de lignocellulose (ADF).

La concentration en ED explique une grande partie la variabilité de la consommation alimentaire ($R^2 = 0,75$) et de la conversion alimentaire ($R^2 = 0,74$, [figure 5](#)). L'étude de Xiccato et Trocino (2010b) montre qu'accroître la concentration énergétique de 1 MJ ED / kg réduit la consommation alimentaire de 12 g/j (environ 10 %) et l'IC 0,29 point, ce qui est en accord avec Maertens (2009) qui a signalé une diminution de 0,30 à 0,40 point de l'ICt.

Chez les animaux monogastriques, la glycémie joue un rôle clé dans la régulation de l'apport alimentaire, tandis que chez les ruminants, la concentration en acides gras volatils dans le sang joue un rôle majeur. Comme les lapins sont des herbivores monogastriques, le principal composant du sang qui régule la consommation alimentaire est probablement le taux de glucose sanguin (Gidenne et al., 2010). Cependant, en raison de la relation étroite entre les fibres alimentaires et la concentration énergétique de l'aliment, la consommation et par conséquent l'IC sont encore plus étroitement corrélés avec l'ADF ($R^2 = 0,92$; Gidenne et al., 2010). Dans une fourchette de 10 à 25 % d'ADF alimentaire, le lapin peut exprimer correctement son potentiel de croissance, mais une hausse de l'ADF conduit en général à une dégradation de l'efficacité alimentaire. Toutefois, si des fibres à fermentation rapide remplacent une partie de l'amidon, l'IC n'est que légèrement dégradé : + 0,10 à + 0,15 point (Perez et al., 2000 ; Gidenne et al., 2004b ; Tazzoli et al., 2015). À l'inverse, l'apport de lignines (ADL) ou de cellulose (ADF-ADL), qui sont des fractions fibreuses indigestes ou peu digestibles, entraîne une forte altération de l'IC (+ 0,17 point par % d'ADL ; + 0,09 point par % de cellulose), et en parallèle une baisse de la digestibilité (Gidenne, 2015).

Au-delà de 25 % d'ADF, et bien que le lapin soit un herbivore, le lapin ne pourra pas ingérer suffisamment d'ED pour maintenir une bonne croissance, et son IC sera alors détérioré de 20 à 40 % (Gidenne et al., 2004a). À l'inverse, lorsque le taux de fibre est trop faible (< 18 % ADF), on s'expose à une élévation des risques de pathologie digestive, bien que la croissance et l'IC soient maintenus.

Figure 5. Relation entre concentration en énergie digestible de l'aliment et l'ingestion (A) et l'indice de consommation (B) chez le lapin en croissance en élevage conventionnel (adapté de Gidenne et al., 2010).

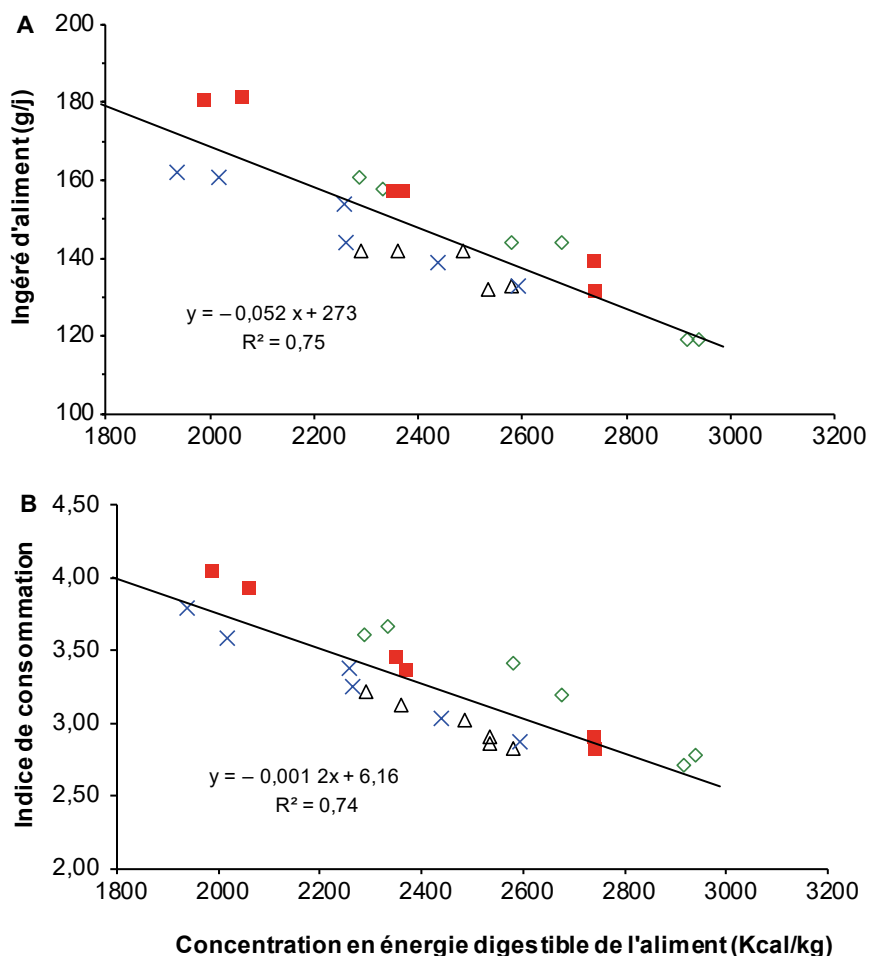
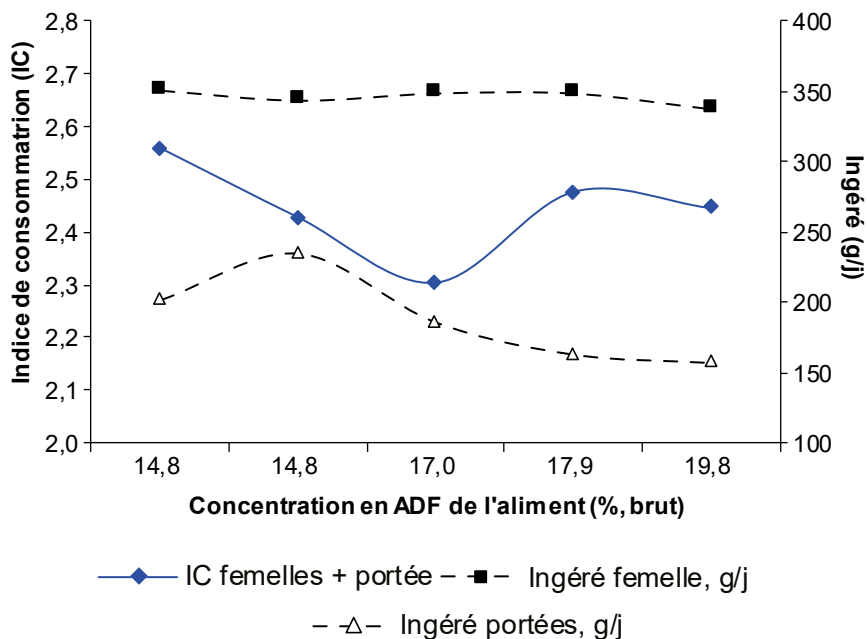


Figure 6. Indice de consommation d'une lapine reproductrice et relation avec la concentration en fibres (ADF) de l'aliment (adapté de De Blas et al., 1995).



En dessous de 13 % d'ADF, outre la hausse du risque de diarrhées, la croissance du lapin sain est souvent réduite de 10 à 20 %, alors que l'EA est maintenue ou améliorée (+ 5 à 10 %, Gidenne *et al.*, 2000 ; Bennegadi *et al.*, 2001).

En maternité, l'apport de fibres est aussi un facteur important de variation de l'EA de la femelle reproductrice. Ainsi, De Blas *et al.* (1995) rapportent une efficacité optimale pour une concentration de 16 à 17 % d'ADF (soit 31 à 33 % de NDF) dans l'aliment (figure 6). De plus, Read *et al.* (2015) ont montré récemment qu'un régime riche en matières grasses (2,9 %) et apportant différents types de fibres (ADF = 20 %, pour optimiser la santé digestive) permettait une meilleure EA et un faible taux de mortalité.

b. Effets de l'ajout de lipides dans l'aliment

L'ajout de lipides permet d'élever la concentration énergétique d'un aliment, et donc d'améliorer l'IC. Cependant, en raison des besoins élevés en fibres du lapin, la teneur en énergie (ED) de l'aliment restera inférieure à celle proposée aux volailles ou aux porcs. Tout en respectant les recommandations en fibres alimentaires (Gidenne, 2015), il est possible d'accroître la densité énergétique d'un aliment en remplaçant de l'amidon par des matières grasses. Cependant, l'incorporation de lipides est souvent limitée entre 2 et 4 % si l'on veut maintenir la qualité technologique du granulé (détérioration de la dureté et de la durabilité). Sachant que les matières grasses végétales contiennent de 2,5 à 2,7 fois plus d'ED que les céréales, un remplacement de 2 % de céréales par 2 % de matières grasses (huile) se traduira par une hausse de 100 à 110 kcal d'ED/kg d'aliment. Une hausse d'ED de 100 kcal correspond à une baisse d'IC en engraissement, qui selon les auteurs oscille entre - 0,08 et - 0,15 point (soit - 3 à - 6 % Fernandez Carmona *et al.*, 2000 ; Corrent *et al.*, 2007 ; Gidenne *et al.*, 2009a ; Maertens, 2010 ; Read *et al.*, 2015). Cet effet a été montré aussi avec une étude multicentrique par Knudsen *et al.* (2014), où une hausse de 240 kcal d'ED correspondait à une réduction de l'IC de 0,39 point. Ainsi, dans la plupart des cas où des lipides remplacent de l'amidon

dans l'aliment, et sans modification du taux de fibres, le lapin ne réduit pas sa consommation mais augmente l'ingéré d'ED. La croissance est alors plus rapide et la conversion alimentaire est meilleure, si toutefois l'aliment est équilibré pour les autres nutriments tels que les acides aminés. L'utilisation d'une alimentation plus concentrée en énergie pour améliorer l'efficacité alimentaire semble plus particulièrement intéressante lors de la phase de finition (Corrent *et al.*, 2007), puisque la sensibilité aux troubles digestifs est moindre et qu'environ les 2/3 de l'aliment sont consommés dans les dernières semaines d'élevage (49 à 70 j d'âge). De plus, après le sevrage, la priorité est souvent donnée à la réduction des risques de pathologie digestive *via* un taux de fibres assez élevé.

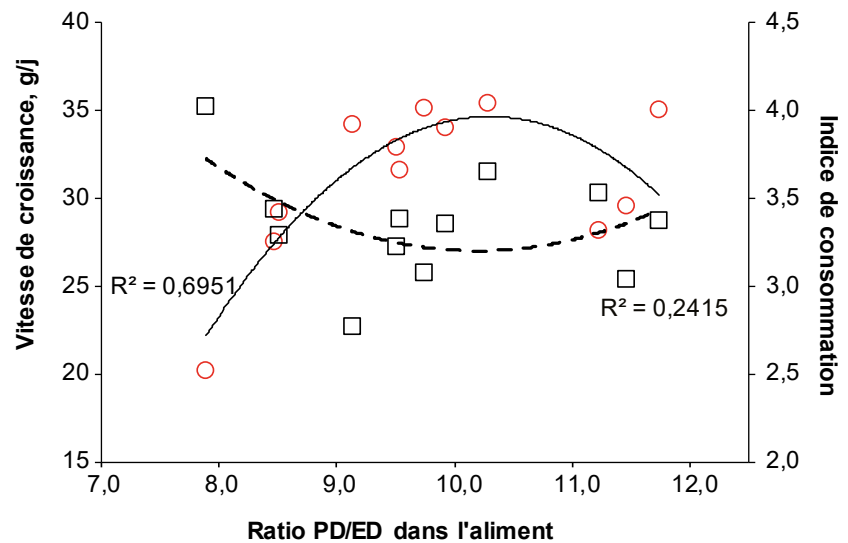
L'ajout modéré de matières grasses dans l'alimentation de la lapine reproductrice est maintenant courant, sachant que cela a un impact favorable sur la production de lait (Pascual *et al.*, 2003). Toutefois, les effets sur le poids au sevrage des jeunes ne sont pas très prononcés. Aussi, compte tenu des effets négatifs sur le bilan énergétique de la lapine (baisse de l'état d'engraissement) pendant la lactation, un régime riche en ED basé sur une addition importante de lipides n'est pas souhaitable (Pascual *et al.*, 2003). De plus, selon Lebas (2004), une baisse de l'IC avec des régimes très énergétiques (> 2650 kcal ED/kg) resterait à démontrer.

c. Effets des apports protéiques et des additifs

• Apports protéiques

Pour les lapins en croissance, on définit un ratio optimum Protéines Digestibles (PD) / énergie digestible situé entre 9,5 et 11,0 g PD / MJ d'ED pour obtenir une vitesse de croissance optimale (figure 7 ; De Blas *et al.*, 1981). L'EA est très peu corrélée au ratio PD/ED, même si on observe globalement une relation inverse entre croissance et IC. Si l'on respecte les apports recommandés en acides aminés indispensables (Lysine, acides aminés soufrés...), l'apport de protéines a donc peu d'effets directs sur l'EA en engraissement. Il est ainsi possible de réduire l'apport de protéines en période de finition jusqu'à

Figure 7. Variation de l'indice de consommation et de la vitesse de croissance (GMQ) selon le ratio PD/ED de l'aliment (adapté de De Blas *et al.*, 1981).



○ Vitesse de croissance □ Indice de consommation

PD : protéines digestibles (g/kg) ; ED : Énergie digestible (MJ/kg) ; * : pour la période sevrage (30 jours) à abattage (70 jours).

10 g de protéines digestibles par kg d'aliment, sans impact sur la vitesse de croissance ou l'EA (Maertens *et al.*, 1997, 1998 ; Xiccato et Trocino, 2010a ; Tazzoli *et al.*, 2015). À l'inverse, un apport trop élevé en protéines, conduisant à un ratio protéines/ED élevé, améliore peu la vitesse de croissance, mais dégraderait l'IC (Kjaer et Jensen, 1997).

De plus, un excès de protéines (non digérées) pourrait augmenter la fréquence des diarrhées après le sevrage (Garcia-Ruiz *et al.*, 2006 ; Chamorro *et al.*, 2007 ; Gidenne *et al.*, 2013b).

Globalement, en engraissement 65 à 70 % de l'aliment sont consommés dans les 3 dernières semaines (7 à 10 semaines d'âge). Aussi, l'une des stratégies courante est d'utiliser des aliments de finition plus concentrés en énergie et à taux modéré en protéines, pour réduire les rejets azotés (Maertens *et al.*, 2005 ; Gidenne *et al.*, 2013a) tout en favorisant une bonne croissance et bonne EA (Knudsen *et al.*, 2014).

Concernant la lapine reproductrice, on recommande pour optimiser l'ingéré et la production de lait (donc l'EA), une concentration minimale de 4,4 g de thréonine digestible par kg d'aliment. Des concentrations plus élevées ou plus

faibles dégradent à la fois le nombre de lapereaux sevrés et l'EA (De Blas *et al.*, 1998).

• Les additifs

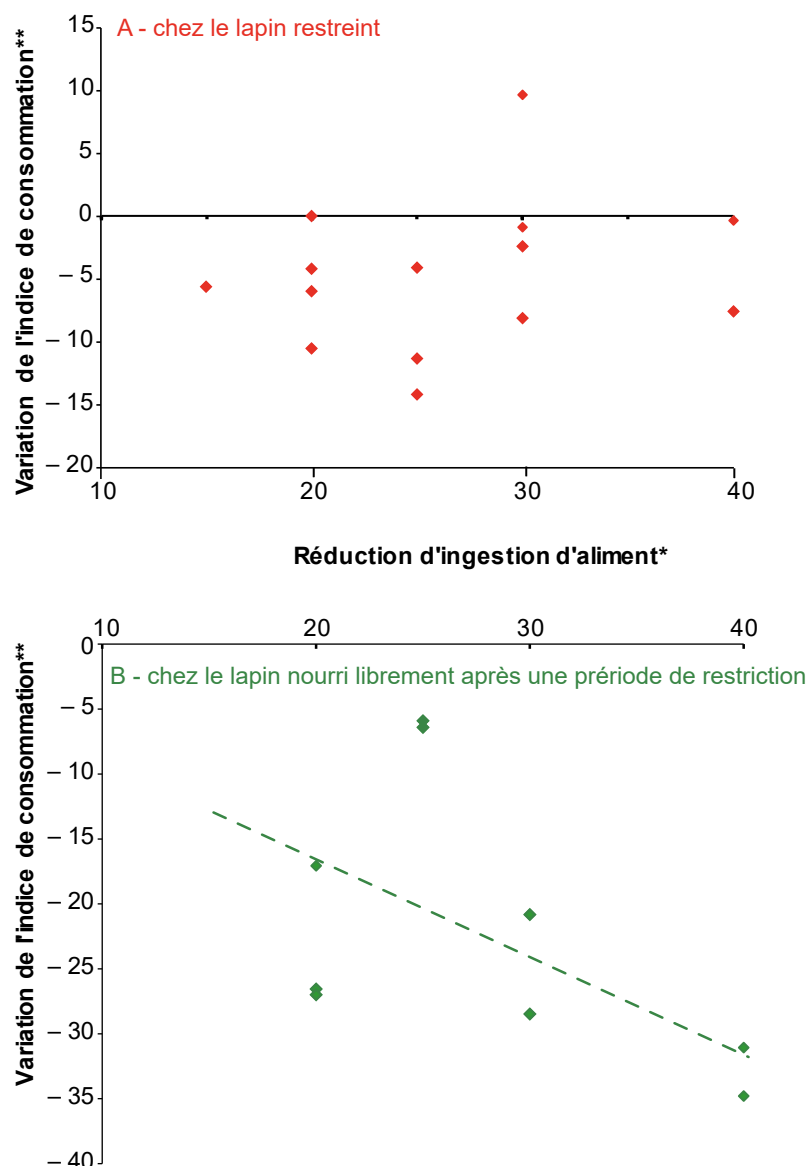
L'impact direct de différents additifs (enzymes, phytases, probiotiques, etc.) pour améliorer l'EA a été étudié essentiellement chez le lapin en croissance, et est souvent peu concluant (Falcão e Cunha *et al.*, 2007). Toutefois, si ces additifs (par exemple, coccidiostatiques) réduisent la mortalité on obtient indirectement un meilleur IC. Dans le cas d'un sevrage précoce (25 jours) un aliment supplémenté avec un cocktail d'enzymes (beta-glucanase, beta-xy lanase, alpha-amylase et pectinase) améliorerait la digestion, la croissance et l'EA, tout en réduisant la mortalité (Garcia-Palomares *et al.*, 2006 ; Garcia-Ruiz *et al.*, 2006), mais ces résultats restent à confirmer.

■ 2.2. Stratégie d'alimentation et indice de consommation

a. Une restriction alimentaire après le sevrage améliore l'IC

Depuis environ 15 ans, la quasi-totalité des cuniculteurs conventionnels français utilise une stratégie de restriction alimentaire des lapins en

Figure 8. L'application d'une restriction alimentaire post-sevrage améliore l'indice de consommation technique chez le lapin restreint (A) et après une période de restriction (B).



* : La restriction est exprimée en % de réduction d'ingestion en comparaison de l'ingéré libre (AL = 100 %) d'animaux contemporains.

** : exprimée en % de l'ICt d'animaux contemporains nourris librement.

croissance (Lebas, 2018). Ces stratégies sont appliquées dès le sevrage et parfois jusqu'à l'âge d'abattage, avec une restriction plus forte après le sevrage (pendant 2 à 3 semaines) suivie d'une période de moindre restriction ou d'alimentation libre. Dans le système conventionnel français (rythme à 42 j + bande + abattage à 10-11 semaines), ces stratégies présentent deux avantages principaux, d'une part une réduction des risques de troubles digestifs post-sevrage (Gidenne *et al.*, 2012), et d'autre part une amélioration de l'EA.

Ainsi, en période d'ingestion restreinte, et pour une gamme courante de niveau de restriction (15 à 35 % de moins que l'ingestion *ad-libitum* « AL »), la vitesse de croissance est globalement réduite en proportion de la réduction d'ingestion. En parallèle, on observe généralement une meilleure EA (figure 8a), avec une baisse de l'ICt de 5 à 10 %, selon les études.

Lorsque des lapins restreints sont nourris à nouveau librement, ils présentent une croissance compensatrice

d'autant plus forte que le rationnement a été intense. En parallèle, on observe une surconsommation d'aliment très modérée, et ainsi l'EA est fortement améliorée (+ 15 à + 30 % figure 8b ; Gidenne *et al.*, 2012). Ainsi, sur la totalité de la période d'engraissement (sevrage-abattage), une restriction alimentaire de type « 3R+2L » (3 semaines sous restriction de 20 %, et 2 semaines *ad libitum*) conduit à une baisse modérée de la vitesse de croissance (- 5 à - 10 %), grâce au phénomène de croissance compensatrice. En parallèle, l'indice de consommation technique (ICt) est amélioré de 10 à 15 % (figure 8b), mais avec une assez grande variabilité qui peut dépendre de la composition chimique de l'aliment. Des résultats similaires ont été enregistrés pour des systèmes cunicoles italiens (Birolo *et al.*, 2016).

L'application d'une restriction de 25 % entraîne une réduction de 34 % des débits fécaux (53 à 35 g MS/j), du fait d'une meilleure efficacité digestive (Gidenne *et al.*, 2017a). Les bilans d'azote et de phosphore ont également été fortement améliorés par la restriction alimentaire. Au cours de la période d'engraissement, ils ont observé une diminution de 35 % du débit fécal de P chez les lapins soumis à restriction (449 à 292 mg/j), tandis que les débits de Zn et de Cu ont été réduits de près de 30 %.

En conséquence, l'application d'une stratégie de restriction améliore l'EA et donc la marge sur le coût alimentaire de + 2 % à + 10 % (Duperray et Guyonvarch, 2009 ; Knudsen *et al.*, 2014). Bien que les lapins doivent rester environ 2 à 3 jours de plus pour atteindre le même poids à l'abattoir, l'avantage économique a été évalué à 10 à 20 centimes (euros) par lapin vendu (en système cunicole conventionnel français, Knudsen *et al.*, 2015). De plus, la restriction alimentaire permet une réduction des impacts environnementaux (cf. partie 5).

b. Mode de distribution de l'aliment

La distribution d'un aliment rationné (- 25 %) en 13 repas (pour simuler le comportement alimentaire naturel) permettrait d'améliorer légèrement l'ICt, sans impact sur la croissance

(Martignon *et al.*, 2009) ; alors qu'une distribution (rationnée ou non) en une fois ou en 2 fois n'a pas d'impact sur l'IC ou la croissance (Gidenne *et al.*, 2009b).

La distribution d'un aliment rationné de nuit (16 à 23 h), plutôt que de jour, conduirait à une amélioration de l'indice de consommation, de près de 10 %, lors des 3 premières semaines d'engraissement (3,09 vs 2,79), sans impact sur la croissance ou la santé (Weissman *et al.*, 2009). Cependant cet effet n'a pas été confirmé par Salaün *et al.* (2011).

c. Facteurs physiques : qualité du granulé

En système cunicole conventionnel, l'aliment est présenté sous forme de granulé d'un diamètre situé entre 3 et 5 mm, pour une longueur de 6 à 13 mm. Si la longueur est plus importante, le lapin peut gaspiller de l'aliment du simple fait que lorsqu'il mord le granulé il peut en tomber une partie qui passe à travers le caillebotis.

En augmentant la durabilité du granulé et sa dureté on peut pour réduire les pertes sous forme de fines. Cependant, un granulé trop dur réduit l'ingestion chez le lapereau (entre 3 et 6 semaines d'âge) et peut conduire à une altération de l'IC (Gidenne *et al.*, 2010). Une autre source importante de déchets d'alimentation résulte de la formation de fines particules (s'agglomérant parfois sous forme de pâte au fond de la mangeoire) lors des transferts d'aliment dans les mangeoires. Une mauvaise conception de mangeoire, dont la forme peut par exemple faciliter le grattage par l'animal, peut aussi contribuer à altérer l'IC. Par exemple, une lapine gestante peut gaspiller de grandes quantités d'aliment (10 à 40 % de la quantité distribuée) en expulsant par grattage un aliment peu appétant. Ces pertes d'aliment peuvent atteindre de 1,5 à 2 % de la quantité totale d'aliments ingérés (Maertens, 2010).

Il est possible de nourrir les lapins avec un mélange d'ingrédients, simplement broyés sous forme de farine (voire de purée), mais dans ce cas on doit s'attendre à une hausse de l'IC entre 5 et 25 % (Maertens, 2010).

3. Facteurs génétiques modifiant l'efficacité alimentaire

L'amélioration génétique de l'indice de consommation s'est d'abord faite par l'utilisation de souches lourdes en croisement avec des lignées maternelles. Globalement, les souches ayant une forte vitesse de croissance permettent d'améliorer l'EA du lapereau de boucherie (Ramon *et al.*, 1996 ; Moura *et al.*, 1997 ; Larzul et De Rochambeau, 2004 ; Larzul *et al.*, 2005 ; Orengo *et al.*, 2009). La sélection pour la vitesse de croissance a amélioré indirectement l'EA *via* le rajeunissement des lapereaux à l'abattage à un poids constant. En effet l'IC augmente avec l'âge des animaux (Larzul et De Rochambeau, 2004). Ainsi, un rajeunissement de 12 jours de l'âge à l'abattage grâce à une sélection divergente sur le poids améliore l'indice de consommation de 0,5 point, alors qu'au même âge la différence entre les deux lignées divergentes n'est que de 0,15 point (Larzul *et al.*, 2005). L'EA peut également être améliorée par la sélection d'autres critères comme la Consommation Résiduelle (CR), l'énergie de maintenance résiduelle ou le gain résiduel (Willems *et al.*, 2013). La Consommation Résiduelle (CR) est obtenue par la résiduelle d'une régression linéaire multiple de la consommation totale d'aliment sur le poids métabolique moyen (poids moyen entre le sevrage et la fin de croissance à la puissance 0,75) et sur le Gain Moyen Quotidien (GMQ). Elle représente la fraction de la consommation totale qui n'est pas expliquée par des besoins d'entretien ou de croissance.

Les récentes estimations des héritabilités du GMQ, de l'IC et de la CR sont données dans le [tableau 5](#). Selon les études, les dispositifs et les modèles utilisés, l'héritabilité du GMQ varie de 0,11 (Piles *et al.*, 2003) à 0,48 (Moura *et al.*, 1997). Les estimations d'héritabilité de l'IC sont moins nombreuses et comprises entre 0,19 (Drouilhet *et al.*, 2013) et 0,48 (Moura *et al.*, 1997). Seulement deux études rapportent des estimations d'héritabilité pour la CR : 0,16 (Drouilhet *et al.*, 2013) et 0,45 (Larzul and De Rochambeau, 2005). L'étude par Larzul et De Rochambeau (2005) comporte toutefois une seule

génération de sélection et cela peut probablement expliquer cette valeur d'héritabilité relativement élevée.

Les corrélations génétiques entre la CR et IC sont très élevées (0,96 ; Drouilhet *et al.*, 2013) à 1,00 (Larzul et De Rochambeau, 2005). Sous un régime *ad libitum*, la corrélation génétique entre le GMQ et l'IC n'est pas très élevée (autour de - 0,48, Piles *et al.* (2004)). Sous un régime alimentaire restreint, la corrélation génétique entre le GMQ et l'IC a été trouvée très élevée (- 1 ; Drouilhet *et al.* (2013)). À l'inverse, la corrélation entre la CR et le GMQ est nulle. Ceci signifie qu'une sélection pour une diminution de la CR entraînera une amélioration de l'IC sans pour autant modifier la vitesse de croissance. Ces hypothèses de réponses à la sélection sont confirmées par la comparaison d'une lignée sélection sur la CR sous un régime *ad libitum* (lignée ConsoRésiduelle) et d'une lignée sélectionnée sur le gain moyen quotidien en régime alimentaire restreint (lignée GMQrestreint) pendant 9 générations avec une population témoin G0, issue d'embryons congelés, pour les deux niveaux alimentaires, *ad libitum* et restreint (Drouilhet *et al.*, 2016). Quel que soit le niveau alimentaire, les 2 lignées sélectionnées ont un indice de consommation significativement plus faible ($2,62 \pm 0,02$) que la lignée G0 ($2,82 \pm 0,02$), avec toutefois des quantités d'aliment ingéré et des poids à 63 jours différents. En régime *ad libitum*, la lignée ConsoRésiduelle présente la même croissance que la lignée G0, avec une moindre consommation d'aliment tandis que la lignée GMQrestreint montre la plus forte croissance. En régime restreint, les deux lignées sélectionnées ont une croissance plus forte que la lignée G0. La composition du microbiote intestinal des lignées sélectionnées était différente de celle de la lignée G0, mettant en lumière le lien entre le microbiote et l'efficacité alimentaire du lapin. Des animaux de la 10^e génération de sélection de la lignée ConsoRésiduelle ont été de nouveau comparés aux animaux témoins de la lignée G0 dans un dispositif d'adoption croisée pour estimer les composantes directes (lapereau) et maternelles (mères des lapereaux) de la croissance et de l'efficacité alimentaire (Garreau *et al.*, 2019). Les lapereaux de la lignée avaient un GMQ plus faible (- 2,36 g/jour, $P < 0,0001$)

Tableau 5. Estimation de l'héritabilité (h^2) pour le Gain Moyen Quotidien (GMQ), l'Indice de Consommation (IC) et la Consommation Résiduelle (CR). Études réalisées avec des lapins nourris ad libitum.

Héritabilité (h^2)			Références	Age	
IC	GMQ	CR		sevrage (jours)	abattage (jours)
0,48	0,29		Moura <i>et al.</i> (1997)	56	84
0,31	0,31		Piles et Blasco (2003)		
0,21	0,25		Piles <i>et al.</i> (2004)		
0,19	0,22	0,16	Drouilhet <i>et al.</i> (2013)	30	63
0,22		0,16	Garreau <i>et al.</i> (2016)	30	63

mais une consommation d'aliment et une consommation résiduelle plus faibles (-855 g, $P < 0,0001$ et -521 g, $P < 0,0001$, respectivement) contribuant à une meilleure efficacité alimentaire (IC : $-0,35$, $P < 0,0001$). En revanche l'IC des lapereaux adoptés par des mères Consorésiduelle était plus élevé ($+0,08$, $P = 0,005$) que celui des lapereaux adoptés par des mères GO, illustrant une dégradation de la composante maternelle de l'IC, corrélée à la sélection des lapereaux sur la consommation résiduelle.

Concernant l'excrétion d'éléments à risque pour l'environnement, la sélection sur l'efficacité alimentaire améliore l'utilisation de N ($+5$ %) et réduit donc les rejets (-13 %, Gidenne *et al.*, 2017b). Au contraire, les rejets en P, Zn et Cu n'ont pas été affectés par la sélection pour l'EA. Afin de réduire les coûts liés à l'alimentation et minimiser les rejets, la sélection pour la CR devrait être privilégiée. Cependant, les entreprises privées sélectionnent essentiellement pour la vitesse de croissance (GMQ) principalement pour une raison pratique : la mesure de l'ingéré individuel est laborieuse, particulièrement pour des animaux élevés en groupe.

4. Impact environnementaux, rejets et efficacité alimentaire

La valorisation agronomique des déjections cunicoles est le meilleur mode de gestion de celles-ci. C'est pourquoi une bonne connaissance de

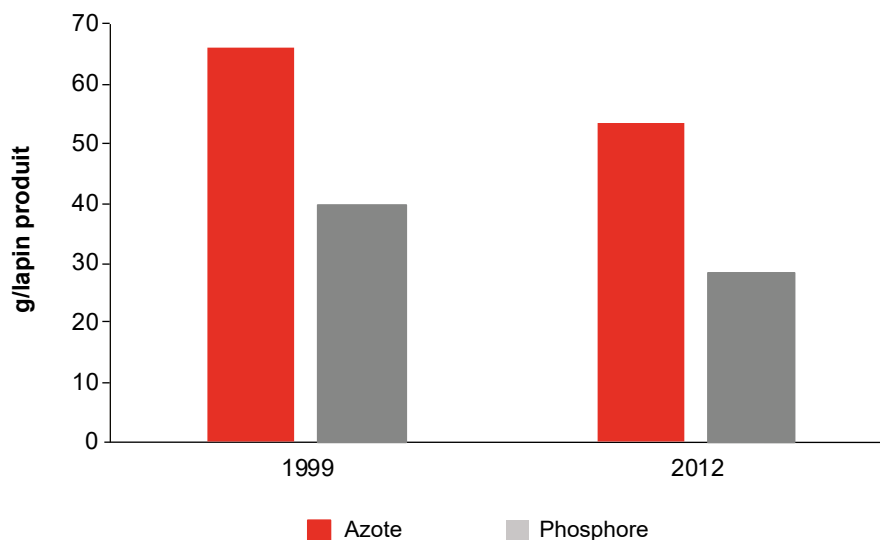
ces rejets est essentielle pour optimiser leur valorisation agronomique et minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. Un document du CORPEN (1999) donne des valeurs de rejets d'azote et de phosphore par les élevages cunicoles. Ces valeurs constituent des références officielles, utilisées à l'heure actuelle pour dimensionner les plans d'épandage. Elles sont également utilisées par l'administration à des fins de contrôles. Les rejets moyens dans des conditions de production standard (cas d'un élevage naisseur-engraisseur) sont : azote (N) = 66 g/lapin ou $3\,240$ g/femelle présente, phosphore (P) = 40 g/lapin ou $1\,939$ g/femelle présente. Ces références sont basées entre autres sur un référentiel technique incluant des

données anciennes et nécessiteraient d'être réactualisées.

En effet, Maertens *et al.* (2005) ont calculé le rejet de N et de P pour un atelier cunicole conventionnel. Exprimés par lapine en production, les rejets de N et de P s'élevaient à $7,42$ kg et $2,08$ kg, respectivement. L'étude de Calvet *et al.* (2008) montre que l'excrétion totale d'azote variait entre 47 et 50 g d'azote par lapin engraisé, ce qui correspond à environ 58 % de l'apport total en azote. Cette valeur est proche de celle proposée par Méda *et al.* (2014) à l'échelle de la ferme naisseur-engraisseur (62 %). L'urine et les matières fécales contribuent à l'excrétion d'azote dans les mêmes proportions. Le taux de rejet azoté atteint ainsi 40 grammes par kg d'animal produit, ce qui indique que les lapins d'engraissement seraient plus efficaces que les porcs d'engraissement.

À partir de données récentes, nous avons recalculé les rejets azotés et phosphorés (N et P), en prenant en compte les progrès technico-économiques enregistrés en cuniculture (cf. figure 1) et la réduction de la concentration en protéines ($16,8$ vs $16,0$ %) et en phosphore ($0,6$ vs $0,5$ %) des aliments. En outre, le taux de protéines de la carcasse d'un lapin a été réévalué à $18,7$ % et à $0,5$ % pour le phosphore, conformément à Maertens *et al.* (2005). Pour les pertes par volatilisation de

Figure 9. Comparaison des quantités d'azote (après déduction des pertes gazeuses) et de phosphore maîtrisables dans un effluent cunicole (g/lapin produit) pour les années 1999 et 2012.



l'azote, le ratio de 60 % par rapport à l'azote excrété a été retenu (pertes à l'intérieur des unités et pendant le stockage du fumier). Toutefois, cette valeur est probablement largement surestimée. En effet, en utilisant les modèles d'émissions de références européens (EMEP/EEA), Méda *et al.* (2014) ont estimé que la volatilisation totale se situerait seulement entre 19 et 24 % selon le mode de gestion des effluents. Dans ces conditions, l'excrétion d'azote par lapin produit (ou vendu) a diminué de 19 % sur la période « 1999-2012 », passant de 66,1 à 53,4 g (figure 9). En parallèle, le rejet de phosphore passe de 39,6 g à 35,5 g de P, soit une diminution de 10 %.

L'excrétion totale de N et de P d'un atelier cunicole (maternité et engraissement) exprimée par femelle et par an (base 2012), est respectivement de 7,53 kg et 1,82 kg. Ces valeurs doivent être comparées à celles de Maertens *et al.* (2005) : 7,42 et 2,08 kg ; et à celles de Méda *et al.* (2014) : 7,55 et 2,17 kg. Exprimées par lapin produit, ces valeurs sont 147 g de N et 35 g de P (Maertens *et al.* (2005) : 165 et 46 g ; Méda *et al.* (2014) : 140 et 40 g). Plus récemment, Ponchant et Greffard (2016) ont calculé à partir d'un échantillon de 5 élevages commerciaux, un rejet de N de 122 g d'azote/lapin produit dans un élevage naisseur-engraisseur, ce qui correspond

à un rejet réel de 62 g (avec un coefficient de volatilisation de 51 %) ; alors que le rejet de P a été estimé à 31 g de P/lapin produit. Ces différences d'estimations peuvent être liées aux écarts de performances (51 lapins/femelles/an contre 49 pour Maertens *et al.* (2005) et 54 pour Méda *et al.* (2014)) ou aux estimations des teneurs en N et P dans les aliments.

L'impact environnemental global de la cuniculture a été récemment étudié par des approches de type « Analyse du Cycle de Vie », tenant compte à la fois des impacts associés à la production des aliments et des impacts directs liés à l'élevage des animaux (émissions gazeuses, consommation d'énergie). Par exemple, Zened *et al.* (2013) montrent que l'amélioration de l'ICt (- 11 %) via la restriction alimentaire contribue à réduire de 5 à 11 % les impacts environnementaux. Récemment, plusieurs scénarii de production ont été calculés (Cesari *et al.*, 2018) en fonction de l'efficacité alimentaire, de la mortalité et du poids d'abattage. Ils montrent que l'impact d'un système cunicole conventionnel varie entre 7,6 et 10,5 kg d'équivalent CO₂/kg de carcasse produite. Cette valeur est légèrement supérieure à celle enregistrée en poulet de chair et ne diffère pas de celui du porc (Cesari *et al.*, 2018)

Comme pour d'autres productions, ces résultats soulignent le lien étroit

entre alimentation et durabilité environnementale en élevage (Wilfart *et al.*, 2019).

Conclusion

Bien que l'alimentation contribue jusqu'à 60 % du coût de production total d'un atelier cunicole conventionnel, il existe plusieurs moyens d'améliorer l'efficacité alimentaire chez les lapins en croissance et les lapines en lactation. Le lapin peut atteindre des rendements de production élevés, et dans des conditions contrôlées (expérimentales), l'indice de consommation global (maternité + engraissement) peut descendre jusqu'à 2,6. Les données technico-économiques françaises montrent une amélioration constante de l'efficacité alimentaire globale des ateliers cunicoles au cours des 15 dernières années, avec une moyenne de 3,3 en 2017. L'optimisation de la gestion sanitaire et de l'alimentation combinée à l'utilisation d'animaux avec un bon potentiel génétique devrait améliorer davantage l'efficacité alimentaire pour atteindre une valeur proche de 3,0 dans les dix prochaines années. La cuniculture présente donc un bon potentiel d'amélioration de l'efficacité alimentaire, de réduction des intrants et donc de réduction de ses impacts sur l'environnement.

Références

- Bennegadi N., Gidenne T., Licois L., 2001. Impact of fibre deficiency and sanitary status on non-specific enteropathy of the growing rabbit. *Anim. Res.*, 50, 401-413.
- Birolo M., Trocino A., Zuffellato A., Xiccato G., 2016. Effect of feed restriction programs and slaughter age on digestive efficiency, growth performance and body composition of growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 222, 194-203.
- Calvet S., Estelles F., Hermida B., Blumetto O., Torres A.G., 2008. Experimental balance to estimate efficiency in the use of nitrogen in rabbit breeding. *World Rabbit Sci.*, 16, 205-211.
- Cantier J., Vezinhet A., Rouvier R., 1969. Allométrie de croissance chez le lapin. I) Principaux organes et tissus. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.*, 14, 271-292.
- Cesari V., Zucali M., Bava L., Gislou G., Tamburini A., Toschi I., 2018. Environmental impact of rabbit meat: The effect of production efficiency. *Meat Sci.*, 145, 447-454.
- Chamorro S., Gomez Conde M.S., Perez De Rozas A.M., Badiola I., Carabano R., De Blas J.C., 2007. Effect on digestion and performance of dietary protein content and of increased substitution of lucerne hay with soyabean protein concentrate in starter diets for young rabbits. *Animal*, 1, 651-659.
- Connor E.E., 2015. Improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. *Animal*, 9, 395-408.
- CORPEN, 1999. Assessment of nitrogen and phosphorous outputs from a rabbit farm. DGAL, 17 p (http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_1999_11_rejet_cunicole.pdf).
- Corrent T., Launay C., Troislouches G., Viard F., Davoust C., Leroux C., 2007. Impact d'une substitution d'amidon par des lipides sur l'indice de consommation du lapin en fin d'engraissement. *J. Rech. Cunicoles*. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 12, 97-100.
- De Blas J.C., Pérez E., Fraga M.J., Rodriguez M., Galvez J.F., 1981. Effect of diet on feed intake and growth of rabbits from weaning to slaughter at different ages and weights. *J. Anim. Sci.*, 52, 1225-1232.
- De Blas J.C., Taboada E., Mateos G.G., Nicodemus N., Mendez J., 1995. Effect of substitution of starch for fiber and fat isoenergetic diets on nutrient digestibility and reproductive performance of rabbits. *J. Anim. Sci.*, 73, 1131-1137.
- De Blas J.C., Taboada E., Nicodemus N., Campos R., Piquer J., Mendez J., 1998. Performance response of lactating and growing rabbits to dietary threonine content. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 70, 151-160.
- Drouilhet L., Gilbert H., Balmisse E., Ruesche J., Tircazes A., Larzul C., Garreau H., 2013. Genetic parameters for two selection criteria for feed efficiency in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 91, 3121-3128.
- Drouilhet L., Achard C.S., Zemb O., Molette C., Gidenne T., Larzul C., Ruesche J., Tircazes A., Segura M., Bouchez

- T., Théau-Clément M., Joly T., Balmisse E., Garreau H., Gilbert H., 2016. Direct and correlated responses to selection in two lines of rabbits selected for feed efficiency under ad libitum and restricted feeding: I. Production traits and gut microbiota characteristics. *J. Anim. Sci.*, 94, 38-48.
- Duperray J., Guyonvarch A., 2009. Effect of different quantitative feed restriction strategies on fattening performance, and interest of a high energy and protein feed. *Journ. Rech. Cunicole. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 13, 59-62.*
- Eberhart S., 1980. The influence of environmental temperatures on meat rabbits of different breeds. In: *2nd World Rabbit Congress, WRSA (Ed). Barcelona, Spanish, 399-409.*
- Falcão e Cunha L., Castro-Solla L., Maertens L., Marounek M., Pinheiro V., Freire J., Mourao J.L., 2007. Alternatives to antibiotic growth promoters in rabbit feeding: A review. *World Rabbit Sci.*, 15, 127-140.
- Fernandez Carmona J., Pascual J.J., Cervera C., 2000. The use of fats in rabbit diets. *World Rabbit Sci.*, 8, 29-59.
- Fortun-Lamothe L., Lacanal L., Boisot P., Jehl N., Arveux A., Hurtaud J., Perrin G., 2006. Utilisation autour du sevrage d'un aliment riche en énergie et en fibres : effet bénéfique sur la santé des lapereaux sans altération des performances de reproduction des femelles. *Cuniculture Magazine*, 33, 35-41. <https://www.cuniculture.info/Docs/Magazine/Magazine2006/fichiers-pdf/mag33-035.pdf>
- Garcia-Palomares J., Carabano R., Garcia-Rebollar P., De Blas J.C., Corujo A., Garcia-Ruiz A.I., 2006. Effects of a dietary protein reduction and enzyme supplementation on growth performance in the fattening period. *World Rabbit Sci.*, 14, 231-236.
- Garcia-Ruiz A.I., Garcia-Palomares J., Garcia-Rebollar P., Chamorro S., Carabano R., De Blas C., 2006. Effect of protein source and enzyme supplementation on ileal protein digestibility and fattening performance in rabbits. *Spanish J. Agric. Res.*, 4, 297-303.
- Garreau H., Ruesche J., Gilbert H., Balmisse E., Benitez F., Richard F., David I., Drouilhet L., Zemb O., 2019. Estimating direct genetic and maternal effects affecting rabbit growth and feed efficiency with a factorial design. *J. Anim. Breed. Genet.*, (first view) 1-6.
- Gidenne T., 1995. Effect of fibre level reduction and gluco-oligosaccharide addition on the growth performance and caecal fermentation in the growing rabbit. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 56, 253-263.
- Gidenne T., 2015. Dietary fibers in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9, 227-242.
- Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2002. Feeding strategy for young rabbit around weaning: a review of digestive capacity and nutritional needs. *Anim. Sci.*, 75 169-184.
- Gidenne T., Jehl N., Lapanouse A., Segura M., 2004a. Inter-relationship of microbial activity, digestion and gut health in the rabbit: effect of substituting fibre by starch in diets having a high proportion of rapidly fermentable polysaccharides. *Br. J. Nutr.*, 92, 95-104.
- Gidenne T., Mirabito L., Jehl N., Perez J.M., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Duperray J., Corrent E., 2004b. Impact of replacing starch by digestible fiber, at two levels of lignocellulose, on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Animal Sci.*, 78, 389-398.
- Gidenne T., Jehl N., Perez J.M., Arveux P., Bourdillon A., Mousset J.L., Duperray J., Stephan S., Lamboley B., 2005. Effect of cereal sources and processing in diets for the growing rabbit. II. Effects on performances and mortality by enteropathy. *Anim. Res.*, 54, 65-72.
- Gidenne T., Bannelier C., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2009a. Interaction between the energetic feed concentration and the restriction strategy - impact on feeding behaviour, growth and health of the rabbit. *J. Rech. Cunicoles. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 13, 63-66.*
- Gidenne T., Murr S., Travel A., Corrent E., Foubert C., Bebin K., Mevel L., Rebours G., Renouf B., 2009b. Effects of the level and of distribution mode of the feed on performance and post-weaning digestive troubles in the young rabbits. First results of the GEC collaborative network. *Cuniculture Magazine*, 36, 65-72.
- Gidenne T., Lebas F., Fortun-Lamothe L., 2010. Feeding behaviour of rabbits. In: *Nutrition of the rabbit. De Blas C., Wiseman J. (Eds). CABI publ., Wallingford; UK, 233-252.*
- 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
- Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2013a. Protein replacement by digestible fiber in the diet of growing rabbits. 1- Impact on digestive balance nitrogen excretion and microbial activity. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 183, 132-141.
- Gidenne T., Kerdiles V., Jehl N., Arveux P., Eckenfelder B., Briens C., Stephan S., Fortune H., Montessuy S., Muraz G., 2013b. Protein replacement by digestible fiber in the diet of growing rabbits. 2-Impact on performances, digestive health and nitrogen output. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 183, 142-150.
- Gidenne T., Fortun-Lamothe L., Bannelier C., Molette C., Gilbert H., Chemit M.L., Segura M., Benitez F., Richard F., Garreau H., Drouilhet L., 2017a. Direct and correlated responses to selection in two lines of rabbits selected for feed efficiency under ad libitum and restricted feeding: III. Digestion and releases of nitrogen and minerals. *J. Anim. Sci.*, 95, 1301-14312.
- Gidenne T., Garreau H., Drouilhet L., Aubert C., Maertens L., 2017b. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects *Anim. Feed Sci. Technol.*, 225, 109-122.
- IFIP, 2017. *Porc par les chiffres. Ed IFIP, 44p.*
- Jentzer A., 2009. Principaux résultats issus du réseau de fermes de références cunicoles au cours de la campagne 2007-2008. *J. Rech. Cunicoles. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 13, 95-103.*
- Kjaer J.B., Jensen J., 1997. Perirenal fat, carcass conformation, gain and feed efficiency of growing rabbits as affected by dietary protein and energy content. *World Rabbit Sci.*, 5, 93-97.
- Knudsen C., Combes S., Briens C., Coutelet G., Duperray J., Rebours G., Salaun J.M., Travel A., Weissman D., Gidenne T., 2014. Increasing the digestible energy intake under a restriction strategy improves the feed conversion ratio of the growing rabbit without negatively impacting the health status. *Livest. Sci.*, 169, 96-105.
- Knudsen C., Combes S., Briens C., Duperray J., Rebours G., Salaun J.M., Travel A., Weissman D., Gidenne T., 2015. La limitation post-sevrage de l'ingestion, une pratique favorable à l'efficacité alimentaire et à la santé : des mécanismes physiologiques à l'impact économique. *Journ. Rech. Cunicoles*, 16, 115-127.
- Larzul C., De Rochambeau H., 2004. Comparison of ten rabbit lines of terminal bucks for growth, feed efficiency and carcass traits. *Anim. Res.*, 53, 535-545.
- Larzul C., De Rochambeau H., 2005. Selection for residual feed consumption in the rabbit. *Livest. Prod. Sci.*, 95, 67-72.
- Larzul C., Gondret F., Combes S., De Rochambeau H., 2005. Divergent selection on 63-day body weight in the rabbit: response on growth, carcass, muscle traits. *Genet. Sel. Evol.*, 37, 105-22.
- Lebas F., 2007. Productivité des élevages cunicoles professionnels en 2006. Résultats de RENELAP et RENACEB. *Cuniculture Magazine*, 34, 31-39. www.cuniculture.info.
- Lebas F., 2018. Performances moyennes des élevages cunicoles en France, pour l'année 2017. Résultats RENACEB. *Cuniculture Magazine*, 45, 22-36.
- Maertens L., 2009. Possibilities to reduce the feed conversion in rabbit production. *Giornate di Coniglicultura. ASIC, Forli, Italy, 1-9.*
- Maertens L., 2010. Feeding systems for intensive production. In: *Nutrition of the rabbit. De Blas C., Wiseman J. (Eds). CABI, Wallingford, UK, 253-266.*
- Maertens L., Van Gaver D., 2010. Evaluation of the anticoccidial efficacy of Cycostat in experimentally infected breeding rabbits housed under conventional conditions. *World Rabbit Sci.*, 18, 65-75.
- Maertens L., Cavani C., Petracchi M., 2005. Nitrogen and phosphorus excretion on commercial rabbit farms: calculations based on the input-output balance. *World Rabbit Sci.*, 13, 3-16.
- Maertens L., Buijs S., Davoust C., 2013. Gnawing blocks as cage enrichment and dietary supplement for does and fatteners: intake, performance and behaviour. *World Rabbit Sci.*, 21, 185-192.
- Martignon M.H., Combes S., Gidenne T., 2009. Effect of the feed distribution mode in a strategy of feed

- restriction: effect on the feed intake pattern, growth and digestive health in the rabbit. *J. Rech. Cunicoles*. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 13, 39-42.
- Méda B., Fortun-Lamothe L., Hassouna M., 2014. Prediction of nutrient flows with potential impacts on the environment in a rabbit farm: a modelling approach. *Anim Prod. Sci.*, 54, 2042-2051.
- Moura A.S., Kaps M., Vogt D.W., Lamberson W.R., 1997. Two-way selection for daily gain, feed conversion in a composite rabbit population. *J. Anim. Sci.*, 75, 2344-2349.
- Niemann H., Kuhla B., Flachowsky G., 2011. Perspectives for feed-efficient animal production. *J. Anim. Sci.*, 89, 4344-4363.
- Orengo J., Piles M., Rafel O., Ramon J., Gomez E.A., 2009. Crossbreeding parameters for growth, feed consumption traits from a five diallel mating scheme in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 87, 1896-905.
- Pascual 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, 27-39.
- Perez J.M., Gidenne T., Bouvarel I., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Le Naour J., Messenger B., Mirabito L., 2000. Replacement of digestible fiber by starch in the diet of the growing rabbit. II. Effects on performances and mortality by diarrhoea. *Ann. Zootech.*, 49, 369-377.
- Piles M., Blasco A., 2003. Response to selection for growth rate in rabbits estimated by using a control cryopreserved population. *World Rabbit Sci.*, 11, 53-62.
- Piles M., Gomez E.A., Rafel O., Ramon J., Blasco A., 2004. Elliptical selection experiment for the estimation of genetic parameters of the growth rate and feed conversion ratio in rabbits. *J. Anim. Sci.*, 82, 654-660.
- Ponchant P., Greffard B., 2016. Volatilisation de l'azote en bâtiment d'élevage cunicole. (Ed), *Journ. Nat. ITAVI – Élevage du lapin de chair*, Pacé, France, 21-23.
- Ramon J., Gomez E.A., Perucho O., Rafel O., Baselga M., 1996. Feed efficiency and postweaning growth of several Spanish selected lines. In: 6th World Rabbit Congress. Lebas F. (Ed). Toulouse, AFC publ. Toulouse, France, 351-353.
- Read T., Combes S., Gidenne T., Destombes N., Grenet L., Fortun-Lamothe L., 2015. Stimulate feed intake before weaning and control intake after weaning to optimise health and growth performance. *World Rabbit Sci.*, 23, 145-153.
- Rosell J.M., González F.J., 2009. Gestión Técnica de explotaciones cunícolas 1992-2008. *Cunicultura*, 1-3.
- Salaün J.M., Renouf B., Bourdillon A., Picot A., Perdriau A., 2011. Comparaison d'un accès nocturne à la mangeoire à un rationnement progressif et à une alimentation ad libitum sur les composantes du rendement carcasse des lapins en engraissement. *J. Rech. Cunicoles*. Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris., France, 13, 101-104.
- Tazzoli M., Trocino A., Birolo M., Radaelli G., Xiccato G., 2015. Optimizing feed efficiency and nitrogen excretion in growing rabbits by increasing dietary energy with high-starch, high-soluble fiber, low-insoluble fiber supply at low protein levels. *Livest. Sci.*, 172, 59-68.
- Théau-Clément M., Savietto D., Travel A., Fortun-Lamothe L., 2015. Reproduction. In: *Le lapin : de la biologie à l'élevage*. Gidenne T. (Ed). Quae Éditions.
- Trocino A., Filiou E., Tazzoli M., Birolo M., Zuffellato A., Xiccato G., 2015. Effects of floor type, stocking density, slaughter age and gender on productive and qualitative traits of rabbits reared in collective pens. *Animal*, 9, 855-861.
- Verspecht A., Maertens L., Vanhonacker F., Tuytens F.A.M., Van Huylenbroeck G., Verbeke W., 2011. Economic impact of decreasing stocking densities in broiler rabbit production based on Belgian data. *World Rabbit Sci.*, 19, 123-132.
- Weissman D., Troislouches G., Picard E., Davoust C., Leroux C., Launay C., 2009. Amélioration de l'indice de consommation de lapins en engraissement par une distribution nocturne de l'aliment. *J. Rech. Cunicoles*, Bolet G. (Ed). Le Mans, France. ITAVI publ., Paris, France, 13, 47-50.
- Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y., Garcia-Launay F., 2019. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 31, 289-306.
- Xiccato G., Trocino A., 2010a. Energy and protein metabolism and requirements. In: *Nutrition of the rabbit*. De Blas C., Wiseman J. (Eds). CABI publ.; Wallingford; UK, 83-118.
- Xiccato G., Trocino A., 2010b. Feed and energy intake in rabbits and consequences on farm global efficiency. In: 6th Int. Conf. on Rabbit Prod. In: *Hot Climate*, Daader A. (Ed). Assiut, Egypt, 1-18.
- Xiccato G., Trocino A., Fragkiadakis M., Majolini D., 2007. Enquête sur les élevages des lapins en Vénétie : Résultats de gestion technique et estimation des rejets azotés. *J. Rech. Cunicoles*, Bolet G. (Ed). Le Mans, France, ITAVI publ., Paris, France, 12, 167-169.
- Zened A., Méda B., Ponchant P., Wilfart A., Arroyo J., Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2013. Conséquences d'une restriction alimentaire chez le lapereau sevré sur les impacts environnementaux de la production de viande de lapin. In: G. Bolet (Ed). *Journ. Rech. Cunicole*, Le Mans, France, 15, 141-144.

Résumé

Comme l'alimentation est le premier poste composant le coût de production ($\pm 60\%$ du coût total) en élevage, la mesure de l'efficacité alimentaire est un indicateur majeur pour juger la performance et la rentabilité d'un élevage. L'amélioration de l'efficacité alimentaire est aussi un enjeu pour réduire l'impact environnemental de l'élevage, par la réduction des rejets animaux et une moindre production de matières premières alimentaires. Cette efficacité se mesure couramment par l'indice de consommation, et en cuniculture conventionnelle, l'indice de consommation global (ICg = maternité+engraissement) a été réduit de 10% (3,8 vs 3,4) ces 15 dernières années, de même que les rejets azotés et phosphorés. Cette amélioration provient des progrès conjoints sur la maîtrise sanitaire, l'alimentation (notamment les stratégies de restriction), la maîtrise du logement et le potentiel génétique des animaux. Cet article de synthèse résume l'impact de ces facteurs pour améliorer l'efficacité alimentaire en cuniculture conventionnelle. Après la gestion sanitaire, les performances reproductives du troupeau sont un levier majeur d'amélioration de l'ICg. L'usage d'aliments préservant la santé digestive du lapin en croissance, associé à une stratégie appropriée de restriction post-sevrage sont aussi de bons leviers. Les recherches en génétique peuvent contribuer à réduire l'ICg par 2 voies, l'amélioration de la vitesse de croissance et/ou la réduction de la consommation d'aliment à croissance fixée. L'impact environnemental de la cuniculture varie entre 7,6 et 10,5 kg d'équivalent CO₂/kg de carcasse produite (légèrement supérieure au poulet) et ne diffère pas de celui du porc. À l'avenir, il semble possible d'améliorer encore l'efficacité alimentaire, et donc de réduire à la fois les intrants et les rejets, pour atteindre un ICg proche de 3,0 similaire aux systèmes porcins.

Abstract

Feed efficiency in rabbit farming: ways of improvement, technico-economical and environmental impacts

Despite substantial advances in breeding efficiency over the last 40 years, feed still represents the majority of production cost ($\pm 60\%$). Feed efficiency, mostly expressed as Feed Conversion Ratio (FCR), is a key indicator to judge the financial and environmental performance of a farming

system. Moreover, by improving the feed efficiency, excretion and gas losses in the environment are reduced. In conventional rabbit farming, the farm FCR (maternity + fattening units) in European farms was decreased by 10 % (decrease from 3.8 to 3.4) during the past 15 years, as well as nitrogen and phosphorus excretion. This improvement can be attributed to joined progresses in health control, feeding strategies (including feed restriction), housing management and genetic potential of animals. This review summarizes the impact of various factors to improve FCR for conventional rabbit farming. To optimize rabbit farm FCR, the reproducing stock as well as the fattening unit must be considered. After the sanitary management, the reproductive performances of the flock are a good leverage to improve farm FCR. The use of balanced diets preserving digestive health of the growing rabbit, together with an appropriate feeding restriction after weaning, is also a good leverage. Research in genetics also contributes in lowering farm FCR, by two ways: increasing the growth rate and/or reducing the feed intake for a fixed growth. The environmental impact of rabbit production varies between 7.6 and 10.5 kg of CO₂ equivalent/kg of carcass produced (slightly higher than chicken) and does not differ from that of pork. In perspectives, further improvements of feed efficiency, and reductions in feed input and output in environment, should lead to a farm FCR of 3.0, similar to that of pig production.

GIDENNE T., GARREAU H., MAERTENS L., DROUILHET L., 2019. Efficacité alimentaire en cuniculture : voies d'améliorations, impacts technico-économiques et environnementaux. INRA Prod. Anim., 32, 431-444.

<https://productions-animales.org/article/view/2946>