

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques



THESE

Présentée par

Hocine GUERMAH

En vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option: Productions Animales

THEME

Nutrition du lapin : étude de sources alimentaires alternatives

Soutenue publiquement le. 30/11/2016

Devant le jury composé de:

Nacéra Zerrouki	Professeur	UMM Tizi-Ouzou	Présidente
Mokrane Berchiche	Professeur	UMM Tizi-Ouzou	Rapporteur
Luc Maertens	Directeur de recherche	ILVO Belgique	Co-rapporteur
Hacina Ain Baziz	Professeur	ENSV d'Alger	Examinatrice
Dalila Boudouma	Professeur	ENSA d'Alger	Examinatrice
Si Ammar Kadi	Maître de conférences A	UMM Tizi-Ouzou	Examineur

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier profondément mon directeur de thèse, le Professeur Mokrane BERCHICHE de m'avoir accueilli dans son laboratoire, prodigué ses conseils, et encouragé tout au long de la réalisation de cette thèse. Je lui en suis très reconnaissant.

J'exprime ma profonde gratitude au Docteur Luc MAERTENS, mon co-directeur de thèse, sans qui ces travaux n'auraient pu aboutir, et je le remercie vivement de son accueil à l'institut ILVO (Animal Science Unit, Scheldeweg, Melle, Belgique). Il m'a permis de réaliser la partie expérimentale de cette thèse dans d'excellentes conditions. Je ne pourrai assez louer sa collaboration et sa patience en m'accordant de son temps précieux, vu ses nombreuses occupations.

Je ne saurais également remercier assez le Docteur Si Ammar KADI de son aide précieuse et de ses encouragements constants durant toutes les étapes de la réalisation de cette thèse.

Je remercie aussi vivement le Docteur Thierry GIDENNE (Directeur de recherche, à l'INRA de Toulouse, unité GenPhySE, France) de m'avoir accueilli dans son laboratoire et de ses conseils avisés.

Mes remerciements distingués vont également au Docteur Angela TROCINO de l'université de Padova (Italie) pour sa collaboration et pour la réalisation des analyses des fibres solubles.

J'adresse de même mes vifs remerciements aux membres du jury de cette thèse pour avoir bien voulu accepter de juger ce travail :

- Pr Nacéra ZERROUKI, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.
- Pr Dalila BOUDOUMA de l'ENSA d'El Harrach, d'Alger pour avoir accepté d'examiner ce travail.
- Pr Hacina AIN BAZIZ, de l'ENSV d'Alger pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.
- Dr Si Ammar KADI, Maître de conférences A à l'UMM Tizi-Ouzou pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Lors de mes stages au laboratoire de l'INRA de Toulouse, unité GenPhySE où j'ai effectué des analyses chimiques, plusieurs membres m'ont rendu ces séjours enrichissants et agréables. Que

soient ainsi remerciés ici Carole BANNELIER, Muriel SEGURA, Viviane BATAILLER, Laurence F. LAMOTHE, Laurent CAUQUIL et Michèle THEAU-CLEMENT pour leur bienveillance et leur aide.

Je tiens de même à remercier profondément André VERMEULEN de sa collaboration durant la réalisation des essais à l'institut ILVO, ainsi que tout le personnel d'élevage et du laboratoire.

J'inclus avec affection mes remerciements à mes amis pour leurs encouragements et leur soutien constants: Farid DJELLAL, Ali FERNANE, Azzedine MOUHOUS, Hanachi ZEMIHI et Karim MIMOUN.

Les travaux de cette thèse ont été réalisés lors de stages de courte durée au sein de l'institut ILVO en Belgique, dont la direction a pris en charge les essais et mis à ma disposition tous les moyens nécessaires, je tiens à exprimer toute ma gratitude au Docteur Luc MAERTENS et au Professeur Bart SONCK directeur de l'unité sciences animales pour leur bienveillance et leur soutien irremplaçable.

Je ne saurais oublier l'aide et la disponibilité de mon frère Saïd tout au long de l'élaboration de cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma fraternelle reconnaissance.

A ma famille, ma femme, mes enfants, à ma mère pour ses encouragements, à tout ceux qui me sont chers, vivants ou disparus.

Je remercie tout ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cette thèse.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS ISSUES DE CETTE THESE

- **Maertens L., Guermah H., Trocino A. 2014.** Dehydrated chicory pulp as an alternative soluble fibre source in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 2014, 22:97-104. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2014.1540>
- **Guermah H., Maertens L., Berchiche M. 2016.** Nutritive value of brewer's grain and maize silage for fattening rabbits. *World Rabbit Sci.* 2016. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2016.4353>
- **Guermah H., Maertens L. 2016.** Feeding value of brewer's grain and maize silage for rabbits. *world-rabbit-science.com/wrsa-proceedings/congress, 11th world Rabbit Congress, June 15-18, 2016, Qingdao, China.*
- **Maertens L., Guermah H. 2013.** The feeding value of corn silage and brewer's yeast for fattening rabbits: Futterwert von Maissilage und Bierhefe in der Mastkaninchen Fütterung. *18th Internationale Tagung über Haltung und Krankheiten der Kaninchen, Pelztiere und Heimtiere, Celle, Germany.*
- **Guermah H., Maertens L. 2012.** Chicory in rabbit diets. *10th World Rabbit Congress. Egypt, 6-9 sept. 2012.* <http://world-rabbit-science.com/wrsa-proceedings/congress-egypt/papers/02-nutrition/n-.02.pdf>.
- **Maertens L., Guermah H. 2011.** Dried chicory pulp as an alternative digestible fibre source in fattening diets. *17th International symposium on housing and diseases of rabbit furproviding animals and pet animals, 11-12. Mai 2011 in Celle, Germany.*
- **Guermah H., Berchiche M. 2011.** Valorisation de la drêche de brasserie dans l'alimentation du lapin en engraissement : effet sur la croissance et le rendement à l'abattage. *6^{èmes} JRPA 2011. Université M. Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.*
-) **Guermah et al.,** Nutritive value of chicory pulp (*Cichorium intybus* L.) for fattening rabbits. *In preparation*
- .1N111 **Guermah et al.,** Nutritive value of dried distillers grains with solubles (DDGS) for fattening rabbits. *In preparation*

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	7
Abstract	8
Résumé en arabe.....	9
Introduction générale.....	10
Partie I-Synthèse bibliographique.....	14
I.1. Nutrition du lapin.....	15
I.1.1. Anatomie et physiologie digestive du lapin	16
I.1.2. Les besoins nutritionnels	16
I.1.3 Recommandations alimentaires	17
I.2. Sources alimentaires utilisées en alimentation du lapin.....	16
I.2.1. Sources utilisées en alimentation traditionnelle.....	18
I.2.2. Sources classiques utilisées en élevage rationnel	18
I.2.3. Matières premières alternatives.....	21
I.3. Valeur nutritive des matières premières utilisées en alimentation du lapin	24
I.3.1. Méthodes de détermination de la valeur nutritive de matières premières utilisées chez le lapin.....	27
I.3.2 Importance et impact sur la formulation.....	28
Partie II. Etude expérimentale.....	39
Objectifs.....	41
II.1. La pulpe de chicorée (<i>Cichorium intybus</i> L.) déshydratée comme source alternative de fibres solubles dans l'alimentation du lapin encroissance. (Publication insérée).....	42
Abstract.....	45
Introduction.....	46
Materials and methods.....	47
Results	50

Conclusion.....	54
II.2. La valeur nutritive de la Pulpe de chicorée chez le lapin en croissance. (Publication en cours).....	61
Abstract.....	61
Introduction.....	61
Materials and methods.....	63
Results and discussion.....	65
Conclusion.....	70
II.3- La valeur nutritive de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs plante entière chez le lapin en croissance. (Publication insérée).....	80
Abstract.....	82
Introduction.....	82
Materials and methods.....	84
Results and discussion.....	87
Conclusion.....	92
II.4. La valeur nutritive de la drêche de bioéthanol (DDGS) chez le lapin en croissance. (Publication en cours).....	94
Abstract.....	98
Introduction.....	98
Materials and methods.....	99
Results and discussion.....	101
Conclusion.....	105
Partie III. Discussion générale.....	110
Partie IV. Conclusion générale et perspectives	118

RÉSUMÉ

Nutrition du lapin : Etude de sources alimentaires alternatives

La cuniculture peut contribuer d'une manière efficace à une meilleure fourniture du marché en viandes. Les avantages de cette espèce tels que sa capacité de valorisation de produits et coproduits riches en fibres, son cycle biologique court, sa haute prolificité et sa viande de haute qualité nutritionnelle et organoleptique lui confèrent un rôle important.

L'aliment représente la dépense la plus élevée de l'élevage. En Algérie, l'alimentation de cette espèce est basée sur des matières premières importées. La prospection et la valorisation de sources alternatives peuvent conduire à une meilleure autonomie alimentaire de cette filière. Cependant, la connaissance de la valeur nutritive de ces nouvelles sources est un préalable à leur utilisation en formulation d'aliments granulés.

Les travaux réalisés dans cette étude ont pour objectif de caractériser quelques sources alimentaires alternatives en nutrition du lapin. Les sources étudiées sont : la pulpe de chicorée (*Cichorium intybus* L.) déshydratée, l'ensilage de maïs, la drêche de brasserie et la drêche de bioéthanol appelée aussi dried distillers grains with solubles (DDGS).

La pulpe de chicorée déshydratée a été étudiée dans un essai de croissance avec 10%, puis 20 % de taux d'incorporation. Sa valeur nutritive a été déterminée, 12 MJ/kg MS d'énergie digestible (ED) et 5,3% MS de protéines digestibles (PD).

La valeur nutritive de l'ensilage de maïs, de la drêche de brasserie et de la drêche de bioéthanol (DDGS) a été également déterminée par la méthode de substitution.

L'ensilage de maïs s'avère riche en ED 11,1 MJ/Kg MS mais avec une faible teneur en PD de 4,4%MS. La drêche de brasserie est riche en PD et ED 15,7% et 11,66 MJ/kg de MS. Ce coproduit riche en fibres et en énergie avec un apport important en protéines constitue une source alternative intéressante. La valeur nutritive de la drêche de bioéthanol montre une teneur élevée en ED (14,4 MJ/kg MS) et en PD de 19,8% MS. Les résultats montrent que les sources étudiées présentent effectivement un intérêt nutritionnel en formulation d'aliments pour lapins.

Mots clés : Valeur nutritive, lapin, pulpe de chicorée, drêche de brasserie, ensilage de maïs, DDGS.

ABSTRACT

Rabbit Nutrition: Study of alternative food sources

Rabbit breeding can contribute effectively to a better supply of the market in meat. This species has many advantages such as its ability to exploit fibrous raw materials and by-products, its short life cycle, high prolificacy and dietary quality of its meat, high nutritional and organoleptic quality.

The feedstuff is the most costly expense of livestock. In Algeria, the supply of this species is based on imported raw materials. Prospecting and development of alternative sources can lead to greater food autonomy of this sector. However, knowledge of the nutritional value of these new sources is a prerequisite for their use in formulation of feed pellets.

Trials carried out in this study aims to characterize some alternative food sources in the rabbit nutrition. Sources studied are dried chicory pulp (*Cichorium intybus* L.) the maize silage, the brewer's grain and dried distillers grains with solubles (DDGS).

The nutritive value of chicory pulp was 12 MJ/kg DM of digestible energy (DE) and 5.3% DM of digestible protein (DP). In a growth trial with 10% then 20% levels of incorporation. Growth performance obtained is very good (DWG) of 54.4 g/d, feed efficiency is significantly improved with the incorporation rate of 20%, it is 2.88.

The nutritional value of brewer's grain was determined by the substitution method. The tested brewer's grain contained 20.7% CP and was fat rich (10.3%). The batch tested was high energy content (11.66 MJ / kg DM) and fiber 49% NDF and 19% ADF. This fibrous and energy co-product with high protein content is an attractive alternative source.

A high energy value of 11.1 MJ/Kg DM was obtained for maize silage but with low levels of CP and CF (5.7% DM and 2.9%DM). Its contents of NDF, ADF (26; 44%). Especially ADL value (1.5%) indicate that the whole plant maize silage tested was harvested at young stage. The nutritional value of DDGS showed high DE and DP values respectively of 14.4 MJ/kg DM and 19.8% DM. We can conclude that the sources studied are indeed valuable feedstuffs for rabbit diets.

Key words: Nutritive value, rabbit, chicory pulp, brewer's grain, maize silage, DDGS.

تغذية الأرناب: دراسة المصادر الغذائية البديلة.

باستطاعة تربية الأرناب أن تسهم بشكل فعال في إمدادات أفضل للسوق من اللحوم، وتكمن مزايا هذا النوع من الحيوانات في قدرته على الاستفادة من المصادر الغذائية الغنية بالألياف، بالإضافة إلى سرعة تكاثره نظرا لطوره البيولوجي القصير المدى، وجودة لحمه الكبيرة ونوعيته الرفيعة وقيمته الغذائية العالية.

يتطلب الغذاء تكاليف كبيرة في تربية هذا الصنف الذي يعتمد أساسا على المواد الأولية المستوردة، لذا فإن البحث عن مواد بديلة يعتبر الحل الأفضل لضمان تحقيق الاكتفاء الذاتي، إلا أن معرفة القيمة الغذائية لهذه المواد البديلة تبقى شرطا أساسيا لإدراجها في تركيبة الأعلاف المركزة.

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على بعض المواد الغذائية البديلة التي يمكن استعمالها في تركيبة أعلاف الأرناب، من بينها مخلفات نبتة الهند باء البرية (الشيكوري pulpe de Chicorée)، سيلاج الذرة، مخلفات صناعة الجعة وكذا المخلفات المجففة من تقطير الحبوب بالسوائل (DDGS).

تم التوصل إلى معرفة القيمة الغذائية لمخلفات نبتة الهند باء البرية (الشيكوري) حيث تحتوي على 12 MJ/kg MS و 5,3% PD، في حين قدرة القيمة الغذائية لسيلاج الذرة يقدر بـ 11,1 MJ/Kg MS من ED و 15,7% PD ويحتوي على ألياف DF بالإضافة إلى ADF بـ 26,44، الشيء الذي يجعل منها نبتة كاملة باعتبارها مصدرا هاما للطاقة والألياف مع تركيز أقل من البروتينات.

كما أن مخلفات صناعة الجعة غنية بالبروتينات بنسبة (20,7% CP) والدهم (10,3% CP)، لذا تعتبر مصدرا غنيا بالطاقة والألياف (11,66% MJ/kg MS)، (49% NDF) و(19% ADF)، هذا ما يعطيها قيمة غذائية عالية ويجعل منها مادة بديلة رفيعة المستوى.

أما بالنسبة للقيمة الغذائية للمخلفات المجففة من تقطير الحبوب بالسوائل فإنها تحتوي على نسب عالية من البروتينات (19,8%) والطاقة (14,4 MJ/kg MS) وكذا الألياف (29% ADF) و(19% NDF).

تبين النتائج المتوصل إليها من خلال هذه الدراسة، الدور الفعال للمواد الغذائية البديلة المدروسة في تغذية أرناب التسمين. الكلمات المفتاحية: القيمة الغذائية، تغذية الأرناب، شيكوري مجفف، نواتج تقطير الجعة، النواتج المجففة لتقطير الحبوب بالسوائل (DDGS).

Introduction générale

La cuniculture est une filière qui peut contribuer à un meilleur approvisionnement en viande. La promotion de cet élevage peut se justifier par les potentialités biologiques et zootechniques du lapin, valorisées grâce aux acquisitions des connaissances scientifiques. Ces dernières sont en grand essor notamment dans les pays Européens du bassin méditerranéen (Lebas *et al.*, 1996 ; De Blas et Wiseman, 2010; Gidenne, 2015).

Cette espèce est réputée pour sa grande production de viande:130kg par lapine et par an (Coutelet, 2014) ainsi que pour sa qualité nutritionnelle et organoleptique (Dalle Zotte, 2014). En outre, les particularités de la physiologie digestive de cette espèce (Salse, 1983, Gidenne, 2010) lui permettent de tirer profit des protéines contenues dans des plantes et des coproduits des industries agro alimentaires riches en fibres (Gidenne, 2015). Le lapin convertit bien les protéines végétales en protéines animales. Selon Lebas *et al.*, (1996) 20% des protéines végétales qu'il ingère sont fixées dans la carcasse contre 8 à12 % chez les bovins (Dalle Zotte, 2014).

La professionnalisation de la cuniculture à travers le monde a progressé suite à une meilleure maîtrise de la conduite d'élevage en hors sol et de la qualité de l'aliment qui est une contrainte majeure pour la réussite de l'élevage. L'aliment constitue en effet 60 à 70 % des coûts de production et la maîtrise de l'efficacité alimentaire a un impact sur la rentabilité de l'élevage et sur l'environnement (Maertens et Gidenne, 2016). Par ailleurs, l'aliment conditionne l'expression des performances et la santé digestive des animaux (Lebas, 2004).

Compte tenu de ces aptitudes du lapin, la formulation de l'aliment granulé permet l'intégration de sources alternatives diverses, notamment de nouvelles sources végétales, des coproduits des industries alimentaires et non alimentaires. Ceci a pour effet de réduire les difficultés d'approvisionnement en sources importées par de nombreux pays (céréales, tourteau de soja et luzerne).

Dans ce contexte, le développement de la cuniculture peut être envisagé pour assurer l'autonomie alimentaire de cette filière. Une stratégie orientée vers l'indépendance en matière d'approvisionnement en sources alimentaires est devenue une nécessité de nos jours. Cette stratégie sera basée sur la diversification de sources végétales locales, de coproduits des industries agro alimentaires et des industries non alimentaires.

La formulation d'aliments composés a beaucoup évolué. Sa mise en œuvre dépend des disponibilités et des prix des intrants. La mise en ligne de la base de données de *Feedipedia* (Sauvant *et al.*, 2015, site :www.feedipedia.org) constitue un outil précieux et rigoureux au service des professionnels. Cette encyclopédie en ligne procure des données (composition chimique et valeur nutritive) sur environ 1400 sources alimentaires en 2016, de différentes catégories à travers le monde.

En Algérie, quelques fabricants d'aliments de bétail se sont dotés de presse à granuler pour répondre à la demande des éleveurs de lapins. Ainsi, sur le plan de la disponibilité une amélioration est observée sur le terrain. Cependant, plusieurs contraintes techniques et économiques conjuguées empêchent la mise sur le marché d'un aliment spécifique de qualité nutritionnelle à un coût acceptable. La cherté et parfois l'indisponibilité de certaines matières premières importées constituent les principales causes de cet empêchement. Le prix de l'aliment mixte, le seul commercialisé actuellement, reste encore élevé et constitue l'un des principaux obstacles à l'essor de cette filière.

De ce fait, tenter de réduire la dépendance vis à vis de la luzerne, du maïs et du tourteau de soja, en incorporant des sources alimentaires alternatives serait une voie plausible pour favoriser l'autonomie de la cuniculture en Algérie.

Cependant, ces sources alternatives nécessitent la détermination préalable de leur valeur nutritive chez le lapin, avant leur substitution aux sources habituelles. Ceci est l'objectif principal de nos investigations dans cette thèse.

Les travaux de recherches présentés ici visent à approfondir les connaissances sur la valeur nutritive chez le lapin de quelques sources alimentaires alternatives, essentiellement sources de fibres. Ils portent d'une part sur la détermination de leur valeur nutritive pour le lapin, et d'autre part sur leur valorisation et constituent le prolongement des travaux antérieurs de notre laboratoire (Berchiche *et al.*,2000; Lakabi *et al.*,2008; Kadi *et al.*,2011; Lounaouci *et al.*,2014).

Cette détermination constitue un pré requis avant celle des taux optimum d'intégration dans l'aliment granulé pour lapins.

Cette thèse est organisée en deux parties :

-L'étude bibliographique, comportant un chapitre sur la nutrition du lapin, un chapitre sur les sources alimentaires utilisées en alimentation du lapin et un troisième chapitre sur la valeur nutritive des matières premières chez le lapin.

- L'étude expérimentale, comportant des publications séparées exposant les résultats des essais mis en œuvre dans cette thèse :

1- Valorisation de la pulpe de chicorée déshydratée comme source alternative de fibres solubles dans l'alimentation du lapin en croissance.

2- Détermination de la valeur nutritive de la Pulpe de chicorée (*Cichorium intybus* L.) chez le lapin en croissance.

3- Détermination de la valeur nutritive de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs plante entière chez le lapin en croissance.

4- Détermination de la valeur nutritive de la drêche de bioéthanol (DDGS) chez le lapin en croissance.

Une troisième partie est consacrée à la discussion générale dans laquelle les résultats sont synthétisés.

Enfin, la conclusion, dans laquelle des recommandations pratiques pour l'emploi des sources alimentaires étudiées sont formulées, fait l'objet de la dernière partie de ce travail.

Synthèse bibliographique

I-1. Nutrition du lapin

L'alimentation du lapin a toujours constitué une préoccupation permanente et un objectif des chercheurs spécialisés dans cette espèce. La part réservée à ce volet de la recherche se distingue toujours des autres thèmes lors des congrès mondiaux de cuniculture et rencontres scientifiques du domaine. La meilleure maîtrise de l'alimentation et de la reproduction ont permis d'améliorer très significativement les performances dans les ateliers d'élevage du lapin. L'alimentation est considérée comme un poste clé en cuniculture par le coût économique qu'elle engendre et l'expression des performances qu'elle permet de réaliser ainsi que sa corrélation à l'état sanitaire des animaux (Coutelet, 2014; 2015a et b).

Les troubles digestifs sont responsables de 50% des cas de mortalité chez le lapin en croissance, et en font donc la principale cause de problèmes sanitaires (Marlier *et al.*, 2003).

Depuis la rationalisation de la cuniculture en Europe dans les années 1960, en utilisant l'élevage en cages, l'aliment granulé équilibré et le choix d'animaux sélectionnés, des travaux de recherches sont menés dans plusieurs pays. En France, INRA ainsi que des équipes Italiennes, Espagnoles et Belges se sont spécialisées dans la maîtrise de l'alimentation, de la génétique et la reproduction de cette espèce avant que d'autres équipes d'Europe et d'autres pays tels que la Chine ne s'y intéressent. La création de centres de recherches spécialisés dans ce pays devenu leader mondial de la production cunicole ne date que des années 1980. Les avancées de la recherche dans ces disciplines sont évaluées et publiées périodiquement grâce à des congrès mondiaux tout les quatre ans, des journées de recherche cunicoles (telle que les JRC, bisannuelles), des revues spécialisées, sites *web* et diverses rencontres scientifiques à travers le monde. Ces différents travaux ont permis une meilleure identification des besoins nutritionnels des animaux ainsi que des recommandations. Celles-ci sont affinées, mises à jour et appliquées suivant les avancées de la recherche.

Dans une revue bibliographique, Lebas (1969) faisant suite à deux autres revues précédentes d'Aitken et Wilson (1962) et de Braeunlich et Chemillier (1968), relatait les connaissances de l'époque sur la physiologie digestive et les besoins alimentaires du lapin. Ces synthèses rapportaient alors l'état et l'évolution de l'édifice des connaissances sur cette espèce utilisée à double fins. Le lapin était d'abord utilisé en recherche fondamentale comme animal de laboratoire avant d'être élevé pour la production de viande. Dans une autre synthèse bibliographique Lebas (1971) se référant aux autres revues citées (Aitken et Wilson, 1962; Braeunlich et Chemillier, 1968 ; Lebas, 1969) a fait le point sur les connaissances des besoins alimentaires jusqu'à cette année là. Il a alors souligné la nécessité d'apporter des aliments répondant aux différentes catégories de lapins soit en croissance ou pour des femelles

reproductrices. Par ailleurs, de nombreuses publications notamment dans ''*Annales de Zootechnie*'' devenue par la suite ''*Animal*'' Lebas et Laplace (1974); Lebas, (1975) ont traité le volet de la nutrition.

I.1 .1. Anatomie et physiologie digestive du lapin

La physiologie digestive du lapin et ses spécificités ont également fait l'objet de nombreuses études et continuent d'être un pôle d'intérêt pour mieux appréhender la relation nutrition-santé digestive-microbiote. Depuis les travaux de Ruckebusch *et al.* (1966) ; Bonnafous et Raynaud, (1970); Catala, (1976); Proto, 1980; Parigi Bini et Xicato, (1998) d'importants progrès ont été réalisés durant ces décennies pour la compréhension de la relation nutrition écosystème caecal et ses conséquences sur la santé du lapin et son alimentation pratique. Bonnafous et Raynaud, (1967) démontrent le rôle du côlon dans le mécanisme de dualité d'excrétion. Ce fonctionnement constitue la particularité digestive des lagomorphes, la caecotrophie (Gidenne et Lebas, 2005 et 2006; Gidenne, 2015). Par ailleurs, Lebas, (2005) ainsi que Gidenne *et al.* (2007) ont traité la relation écosystème caecal-santé digestive du lapereau.

I.1-2 Les besoins nutritionnels

Les connaissances sur les besoins nutritionnels des différentes catégories de lapins se sont développées au cours des dernières décennies. Depuis les tables successives du NRC (1977), celles de l'INRA (1984, 1989, 2004); Lebas *et al.* (1984 et 1996); Cheeke (1987) à celle de De Bals et Mateos (2010) les recommandations ont évolué parallèlement aux connaissances sur les besoins nutritionnels de cette espèce.

Lebas (1989) a synthétisé les recommandations alimentaires des revues précédentes. Il a notamment mis l'accent sur les besoins nutritionnels des différentes catégories d'animaux (jeunes en croissance, lapines gestantes et/ou allaitantes, des adultes à l'entretien..etc.). Par ailleurs, il a été discuté l'influence du taux de fibres sur la santé digestive des lapins et les corrélations avec les autres nutriments et leur digestibilité.

Les besoins en différentes classes de fibres ont été largement étudiés par les équipes de l'INRA-Toulouse et d'Espagne. Par ailleurs, Gidenne, 2000; 2003; 2015; Gidenne et Lebas, 2002; Gidenne *et al.* 2010 a et b; Gidenne et Garcia, 2006; Garcia *et al.*,2009 ainsi que De Blas, 2012 ont étudié le rôle des fibres dans l'alimentation du lapin. Jusqu'au début des années 1980, seul le

critère cellulose brute (CB) était considéré pour désigner les besoins en fibres des lapins en croissance. Cette fraction est constituée de résidus fibreux obtenus après hydrolyses acide ensuite basique dite de Weende. Elle a été utilisée durant plus de deux siècles et l'est encore grâce à sa simplicité, sa rapidité, sa haute reproductibilité ainsi que son coût.

La méthode séquentielle de Van Soest, (1967) mise à jour notamment par Mertens, (2002) est désormais la plus utilisée. Actuellement, la notion de fibres solubles et insolubles, et l'association de fibres solubles et d'amidon sont étudiés (Perez *et al.*, 2000; Soler *et al.*, 2004; Gidenne *et al.*, 2004 ; Trocino *et al.*, 2011). Par ailleurs, le ratio fibres solubles/ADF et protéines a été également étudié par Xicato *et al.* (2006). Xicato *et al.* (2012) ont présenté les méthodes d'étude des différentes fractions de Fibres, notamment le rôle des fibres solubles dans la physiologie digestive du lapin.

Enfin, Trocino *et al.* (2013) dans une méta analyse ont traité le rôle des fibres solubles en alimentation du lapin. Cette catégorie de fibres a été un peu négligée avant qu'un réel intérêt lui soit accordé ces dernières années. Des teneurs en ADF de 18 et ADL > 5% respectivement sont recommandées pour assurer une bonne santé digestive Gidenne (2015).

I.1-3 Recommandations alimentaires

Lebas (2004b) a synthétisé à partir des progrès de la recherche en nutrition du lapin deux types de recommandations distinctes. Selon les objectifs visés par le nutritionniste, à savoir réaliser une meilleure productivité et efficacité alimentaire optimale ou une meilleure santé (digestive) du cheptel. Cette synthèse présentée à l'occasion du 8^{ème} congrès mondial de cuniculture tenu en 2004 à Puebla (Mexique) constitue de par ses « réflexions » une étape importante dans le cheminement et l'évolution des recommandations alimentaires pour les lapins. Ces recommandations pour le lapin en croissance (42-80 jrs) sont de 10,5Mjoules/kg pour l'énergie; 16-17% pour les protéines brutes, ADF > ou= à 17% ; NDF >ou= à 31%.

Cependant, les recommandations de De Blas et Mateos (2010) constituent l'étape la plus récente et la référence à laquelle on a le plus souvent recours. Un travail exhaustif d'équipes spécialisées qui ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage en fait une référence incontournable complète et la plus actualisée de nos jours.

Les recommandation en différentes fraction de fibres s'actualisent avec une meilleure caractérisation des fibres solubles et leur rôle (Alvarez *et al.* 2007; Gomez-Conde *et al.*, 2009). Le rôle des différentes catégories de fibres a fait également l'objet de synthèses par De Blas *et al.* 1999 ; Gidenne 2015.

Lors du dixième congrès mondial de cuniculture de 2012, une tendance à utiliser des techniques de microbiologie moléculaire pour caractériser le microbiote caecal a été observée. Ces études anticipent l'action sur le lapereau au nid, sur la nutrition avant et après sevrage notamment sur la teneur en fibres pour orienter favorablement l'évolution du microbiote (Abecia *et al.* 2012; Combes *et al.* 2012; Vantu *et al.* 2012).

Dans ce même volet, des études pour mieux caractériser la qualité des fibres « solubles » dans les aliments et les matières premières ont été menées (Xiccato *et al.* 2012; Trocino *et al.*, 2013). Ces travaux ont contribué à une meilleure connaissance du fonctionnement digestif du lapin et de son aptitude à valoriser des aliments très riches en fibres grâce à son caecum qui n'a sans doute pas encore livré tout ses secrets. Un ratio de fibres digestibles/ADF inférieur à 1,3 est à maintenir pour un équilibre entre fibres digestibles et fibres peu digestes Gidenne (2015).

Une stratégie de restriction de l'ingestion ayant pour effet la réduction de la prévalence de certaines maladies digestives est désormais pratiquée après le sevrage, depuis 2003 par les éleveurs français notamment (Gidenne *et al.*, 2012 ; Knudsen 2014).

I-2. Sources alimentaires utilisées en alimentation du lapin

I.2.1. Sources utilisées en alimentation traditionnelle

L'alimentation peut représenter jusqu'à 60% des coûts de production (Gidenne *et al.*, 2013). Ce coût tend à augmenter du fait de la hausse du prix des matières premières (Braine et Coutelet, 2012). Le type d'alimentation dépend du type de cuniculture exercé pour produire la viande du lapin. Colin et Lebas (1996) en ont décrit 3 types : traditionnel, intermédiaire et commercial. Un autre type de cuniculture dite biologique apparu ces dernières années surtout en Europe, et devenu même à la mode et a pris de l'ampleur (Lebas, 2009a). Ce nouveau système d'élevage est venu satisfaire des exigences du consommateur devenues nombreuses prenant en considération le bien être des animaux, la qualité des aliments distribués.. etc.

L'alimentation traditionnelle ou fermière est très variée. Elle était basée sur les épiluchures de fruits et légumes, du pain sec, des fourrages, du foin et de la paille, de feuilles d'arbres et parfois d'orge ou du son de blé. Ce type d'alimentation peu coûteuse pratiquée dans plusieurs pays notamment méditerranéens vise à produire de la viande à moindre coût. Elle est généralement destinée à l'autoconsommation mais contribue largement à l'amélioration des revenus des populations rurales. En Algérie, Ce type d'élevage séculaire a toujours été pratiqué et continue d'exister notamment en zones rurales et péri urbaines (Lebas, 1984; Berchiche et Lebas, 1994; Djellal *et al.* 2006; ..etc). Au Maroc il a été décrit par Barkok (1992) et en Tunisie par Kennou et

Lebas (1990) ; Bergaoui (1992). Dans les pays du Sud de la méditerranée (Espagne, France et Italie) ce système était décrit notamment par Rouvier (1991).

Par ailleurs, une attention particulière a été accordée par les plans de développement de la FAO pour la production cunicole dans les pays en voie de développement ces dernières années (lors des congrès de 2008 et 2012 notamment). Des travaux montrant la contribution de cette espèce à valoriser des ressources alimentaires locales n'entrant pas en concurrence avec l'alimentation humaine (sous produits ménagers et agricoles, fourrages, ...etc.) par des modèles adaptés à chaque pays dans la lutte contre la pauvreté, ont été menés notamment par Lebas 1983; Lukefahr et Cheeke, 1991; Lukefahr, 2007; Oseni et Lukefahr, 2014..etc.

Gidenne (2015) mentionne que le lapin peut consommer une grande variété d'aliments, des graines aux plantes herbacées voire ligneuses et peut s'adapter à des environnements alimentaires très divers, du désert aux climats tempérés ou froids.

Dans les élevages rationnels, l'aliment granulé complet est utilisé exclusivement avec un réel impact économique. Les connaissances nécessaires pour concevoir des formules équilibrées se sont affinées et diversifiées ces deux dernières décennies ce qui permet l'intégration de nouvelles sources et leur substitution aux sources classiques.

I.2.2. Sources classiques utilisées en élevage rationnel

L'alimentation classique du lapin en élevage rationnel est basée principalement sur 3 sources complémentaires dans un modèle standardisé. Le tourteau de-soja pour les protéines, des céréales notamment le maïs pour l'énergie et la luzerne pour les fibres.

Les fibres occupent une place très importante dans les formules d'aliments pour lapins. Il est souvent fait appel à plusieurs sources de fibres complémentaires pour satisfaire les recommandations. La source de fibres la plus communément utilisée est la luzerne déshydratée (*Medicago sativa* L.). D'autres sources sont utilisées pour l'apport de fibres, telles que les coproduits de meunerie, paille de blé, les tourteaux et certaines pulpes (betterave, agrumes..etc.).

Les fourrages peuvent être incorporés à hauteur de 30% et 50 % dans les aliments granulés pour lapins (Fernandez-Carmona *et al.*, 1998; Maertens, 2009b). Par ailleurs, il est connu que les fourrages ont une influence sur les caractéristiques organoleptiques, la teneur en AGPI de la viande (Combes et Cauquil, 2006) ainsi que sur la santé et le bien être du lapin (Liu *et al.* 2010).

Lebas (2004) dans une synthèse exhaustive a recensé pas moins de 542 essais menés durant 30 ans (1973-2003) et classé les matières premières utilisées ou utilisables en alimentation du lapin par catégories. Les Céréales et leurs coproduits ont été mentionnés avec leur différents taux d'incorporation. D'autres coproduits que ceux des céréales, utilisés comme sources d'énergie ont été classés aussi en mentionnant les taux d'incorporation et les précautions inhérentes à leur utilisation. Des listes de coproduits disponibles selon les régions ainsi que leur composition sont accessibles dans plusieurs pays.

L'incorporation de matières grasses et de graines d'oléagineux en vue d'élever la teneur en énergie digestible des aliments a été également passée en revue dans cette synthèse. Par ailleurs, pas moins de 15 types de tourteaux dont le taux d'incorporation varie de 15 à 20 % ou plus, fournissant jusqu'à 60% des protéines de l'aliment ont été présentés par l'auteur dans cette synthèse.

Pas moins de 80 fourrages ont été également cités ainsi que des coproduits agro-industriels utilisés principalement comme sources de fibres. Leur taux d'incorporation qui est parfois de 30%, leur disponibilité à moindre coût leur confèrent un grand intérêt en formulation d'aliments pour lapins. Ces derniers, souvent obtenus humides présentent parfois des risques de mycotoxines (Lebas *et al.*, 1998).

Par ailleurs, Lebas (2004) a rassemblé 80 plantes spontanées et cultivées d'Afrique de l'Ouest, susceptibles de servir de fourrages en milieux tropicaux. De son côté Gidenne (2003) a recensé 26 sources de fibres utilisées dans la formulation des aliments pour lapins avec les critères utilisés dans les recommandations en fibres pour les lapins en croissance (tableau 1). Ces sources sont ensuite actualisées par Gidenne (2015).

Tableau 1. Composition en fibres de quelques matières premières utilisées dans les aliments lapins, (Gidenne, 2003).

	Fibre composition (g/kg on as fed basis)							
	NDF	ADF	ADL	WIP	iUA	DgF	CF	CP
Alfalfa meal 15	418	326	73	68	55	160	261	153
Grass meal	460	260	50	45	22	245	225	150
Wheat bran	405	118	35	29	13	316	95	150
Wheat straw	750	474	80	22	20	298	395	36
Sugarbeet pulp	428	212	18	250	190	466	180	90
Citrus pulp	220	155	16	120	80	185	133	59
Grape pomace	560	480	300	70	45	150	280	117
Soyabean husks	588	426	21	92	60	254	355	122
Sunflower husks	693	562	202	100	75	231	468	54
Cocoa husk	390	300	140	30	20	120	183	164
Grape seed meal	730	650	550	20	15	100	441	99
Rapeseed husk	563	400	190	125	79	288	324	171
Palm cake	605	372	110	27	9	260	178	147
Coconut cake	447	235	55	40	10	252	125	202
Soyabean meal 48	124	65	5	66	25	125	50	468
Sunflower meal 32	383	270	90	65	45	178	225	306
Rapeseed meal	277	189	86	100	50	188	121	361
Maize gluten feed	312	94	12	50	45	268	78	215
<i>Whole seeds</i>								
Soya	117	73	8	60	25	104	56	369
Pea (smooth, winter)	120	70	4	46	18	96	57	220
White lupins (smooth)	210	155	15	105	20	160	128	326
Faba bean	123	89	8	21	15	55	77	257
Oats	280	135	22	11	6	156	111	106
Barley	175	55	9	6	3	126	46	108
Wheat	110	31	9	5	3	84	22	108
Maize	95	25	5	7	5	77	19	82

NDF = neutral detergent fibre; ADF = acid detergent fibre; ADL = acid detergent lignin (Van Soest et al., 1991; AFNOR, 1997; EGRAN, 2001). WIP: water insoluble pectins (see Section 4). DgF : digestible fibre = hemicelluloses (NDF – ADF) + WIP. iUA: Water insoluble Uronic Acids (Blumenkrantz and Asboe-Hansen, 1973). CF: Crude fibre, according to the method developed in the agricultural research centre of Weende (Henneberg and Stohman, 1859; EGRAN, 2001). CP: Crude protein (N × 6.25). Level of dry matter in ingredients = 900 g/Kg.

Le modèle standardisé basé sur l'utilisation des matières premières conventionnelles que sont le maïs et le tourteau de soja et la luzerne a été remis en cause dès l'embargo américain sur le soja de 1973 sur l'Europe. Beaucoup de pays tentent dès lors d'assurer leur autonomie alimentaire par des décisions politiques (subventions, programmes de développement et de promotion de ressources locales..etc.) ou des programmes de recherche adaptés .

Ce modèle commençait alors à être modifiée selon la disponibilité de nouvelles sources d'où l'apparition du concept de sources alternatives afin de remplacer ces matières classiques. Les pays ayant l'ambition de développer la cuniculture sans produire ces trois matières et dont le prix pèse sur leur économie se sont orientés vers la valorisation de sources locales.

I.2.3. Matières premières alternatives

Chercher à réduire la dépendance vis à vis de la luzerne et du tourteau de soja par l'incorporation de matières premières alternatives et coproduits locaux serait une voie plausible pour l'autonomie de la filière. La cherté et parfois l'indisponibilité de certaines matières premières importées est le principal obstacle au développement de la cuniculture. L'apparition du concept de 'sources alternatives' afin de remplacer ces matières classiques liées à ce modèle a vu le jour dans des pays ayant l'ambition de développer leurs productions animales par des plans d'autonomie en matières premières composant les aliments de bétail. Le cas de l'Algérie dont les prix de ces intrants importés pèsent sur l'économie et sur l'essor de la cuniculture notamment est un exemple concret. Ce concept de sources alternatives qui entre dans les exigences de l'agriculture durable constitue un véritable enjeu environnemental et économique.

Des travaux sont toujours menés au sein de notre laboratoire sur la valorisation de ressources disponibles localement et leur substitution aux ressources classiques importées. L'orientation vers la valorisation de ressources locales a été entamée dans ces travaux dès le début des années 1990 (Berchiche et Lebas 1990; 1996 ; 1999; Kadi 2012 ; Kadi *et al.*,2011; Lounaouci *et al.*,2009 ; 2011 et 2014...etc). Des variétés locales de protéagineux, de coproduits des industries agro alimentaires ont été testés comme sources alternatives dans le but de les substituer au maïs, au tourteau de soja et à la luzerne et d'atténuer ainsi le poids de la dépendance en intrants importés.

La forte demande en grains pour la consommation humaine incite les nutritionnistes à mieux intégrer les différents coproduits dans la formulation d'aliments pour animaux Verstegen et Tamminga (2005). La valorisation de coproduits par la filière animale a toujours été pratiquée, elle est à la fois économique et écologique. Cependant, la connaissance de leur valeur nutritive est une étape indispensable à leur valorisation optimale en alimentation animale, notamment chez les monogastriques.

Des expérimentations sont nécessaires pour juger de l'appétibilité, de l'innocuité, du taux optimal d'incorporation et des performances zootechniques permises par les coproduits. La détermination préalable de la valeur nutritive des coproduits et des sources non conventionnelles permet leur valorisation et la formulation d'aliments à moindre coût.

Le lapin qui est un herbivore monogastrique présente des besoins spécifiques en fibres, a un rôle important à jouer dans cette stratégie. Contrairement aux volailles et au porc, il peut valoriser une large gamme de produits et coproduits à haute teneur en fibres (Cheeke, 1987). Cette aptitude est d'une importance capitale dans les pays en développement où le

déficit en protéines animales des populations et des aliments pour bétail sont accrus et étroitement liés. Des coproduits fibreux avec une teneur appréciable en protéines constituant des sources potentielles intéressantes pour l'alimentation du lapin (Carabano et Fraga, 1992) sont disponibles dans les pays méditerranéens, en Algérie notamment.

La drêche de brasserie jusqu'ici valorisée essentiellement chez les ruminants répond à ces critères. Des essais de sa substitution pour le tourteau de soja étaient menés par Berchiche *et al.*, (1999) notamment. Ce coproduit est largement disponible mais sa valeur nutritive chez le lapin est peu étudiée (Fernandez Carmona *et al.* 1996; Maertens et Salifou, 2007). Ses apports à la fois en fibres et en protéines font de la drêche de brasserie un intrant important dans la formulation d'aliments pour lapins. Elle permet de répondre aux contraintes fibres et protéines des recommandations, d'offrir de nouvelles variantes en formulation et de réduire le coût de l'aliment. Elle pourrait être d'un grand intérêt nutritionnel et économique dans le contexte Algérien.

D'autres coproduits des industries agro alimentaires tels que les issus de meunerie ont fait l'objet d'études notamment sur les performances zootechniques et leur variabilité (Lakabi *et al.*, 2008; Boudouma, 2009; Lounaouci *et al.*, 2011; 2014) mais les données sur leur valeur nutritive chez le lapin sont rares.

Le grignon d'olive, coproduit largement disponible dans la région de Kabylie notamment a déjà fait l'objet d'essais de substitution à la luzerne comme source de fibres, menés dans notre laboratoire par Kadi *et al.* (2004) et continue de faire l'objet d'étude dans des essais plus récents Dorbane *et al.* (2016). Ce coproduit bénéficie d'un grand intérêt dans certains pays méditerranéens notamment en Espagne De Blas *et al.* (2015).

Les coproduits des industries agro-alimentaires générés en grands tonnages par des usines peuvent constituer une source de pollution potentielle s'ils ne sont pas orientés vers l'alimentation animale. En 2010, l'industrie américaine d'éthanol a produit 33,4 millions de tonnes métriques de drêche de biocarburants (DDGS) Hoffmann et Baker, (2011). Les drêches obtenues contribuent pour une part importante à la rentabilité de la filière, environ à hauteur de 30% de la marge des usines qui les produisent Cozannet *et al.* (2010). Ces coproduits permettent surtout de diversifier les matières premières utilisables en formulation et à réduire le coût des aliments.

L'amidon des céréales est transformé par hydrolyse enzymatique en glucose dont la distillation produira du bioéthanol de 1^{ère} génération et du dioxyde de carbone. Les coproduits majoritaires obtenus sont les drêches appelées Distillers dried grains with solubles ou DDGS. Selon Stein et Shurson (2009) la teneur en amidon du DDGS de maïs est d'environ 7% alors que celle du grain de maïs est de l'ordre de 65%. Les teneurs des

fractions de nutriments restant après l'hydrolyse (protéines, fibres et lipides) sont triplées par rapport à la céréale d'origine (Creswell, 2006).

Les drêches de biocarburants sont jusqu'ici valorisées exclusivement par les ruminants. Les drêches de blé issues de l'industrie des biocarburants devraient, étant donné l'accroissement des volumes attendus, devenir de plus en plus disponibles pour les monogastriques. Cependant, très peu de données sont disponibles sur la valeur nutritionnelle de ces produits. L'utilisation de ces matières premières chez les monogastriques nécessite une détermination préalable de leur valeur énergétique et protéique chez chaque espèce (volailles, porc et lapin...etc.). La valeur nutritionnelle des drêches de blé a été étudiée chez les volailles et le porc notamment par Cozannet *et al.* (2010); Awad *et al.* (2011)...etc.

Ces drêches issues de l'industrie de bioéthanol restent peu étudiées chez le lapin Villamide *et al.* (1989); Petkova *et al.* (2011). Ce coproduit des filières de production de bioéthanol dont la disponibilité sur le marché mondial de l'alimentation animale augmente est une alternative intéressante.

Cependant, des études sur leur valeur nutritive, d'innocuité et des taux optimum d'intégration sont indispensables à leur valorisation effective.

Le lapin est un herbivore monogastrique est capable de valoriser des coproduits hautement riches en fibres grâce à ses particularités digestives. L'adaptation des formules alimentaires en intégrant ces nouveaux intrants a une dimension à la fois économique, écologique et nutritionnelle. Cette adaptation diffère selon les pays, les régions et la disponibilité des matières premières à intégrer. Lebas (2013) réunissant les différents types d'élevages a traité différentes sources et stratégies alimentaires en petites et moyennes unités de production. Il a souligné la contribution des fourrages (verts et secs) et des coproduits en présentant leur valeurs nutritives. Cette étude confirme l'importance économique de l'intégration des sources localement disponibles sur la durabilité des élevages cunicoles.

I.3. Valeur nutritive des matières premières utilisées en alimentation du lapin

La formulation d'aliments complets et équilibrés est basée sur la détermination des besoins nutritifs des lapins et de la valeur nutritive des matières premières. L'estimation de la valeur nutritive des matières premières conventionnelles ou non conventionnelles est une étape indispensable à leur valorisation d'une manière optimale en alimentation du lapin.

Elle permet une plus large utilisation de coproduits et de matières premières alternatives dans la formulation d'aliments équilibrés pour lapins. Cette étape permet une meilleure diversification

dans la formulation et une réduction du coût par une valorisation plus large de matières premières alternatives locales notamment (Kadi *et al.*, 2011) et de coproduits (De Blas *et al.*, 2014).

La détermination de la valeur nutritive de matières premières chez le lapin a fait l'objet de plusieurs travaux (Maertens et Lebas, 1989; Villamide, 1996; Villamide *et al.*, 2001, 2003, 2010, 2016). Les études sur les valeurs nutritives doivent évoluer en parallèle avec l'évolution des connaissances sur les besoins et recommandations alimentaires des animaux, sur les effets des matières premières alternatives sur les performances et la santé des animaux ainsi que sur la qualité de la viande telle que sa richesse en AGPI (acides gras poly insaturés)...etc.

De nombreux travaux ont démontré que la digestibilité des aliments chez le lapin diffère de celle observée chez les ruminants ou les autres monogastriques. C'est pourquoi une évaluation correcte de la concentration énergétique des aliments destinés aux lapins ne peut être obtenue qu'avec des lapins (Maertens et Lebas, 1988).

L'estimation de la valeur nutritive revêt un grand intérêt eu égard au grand nombre de matières premières et coproduits susceptibles d'être incorporés dans l'aliment pour lapins, de leur grande variabilité qui est liée à leur origine, à leur composition chimique et aux procédés technologiques de leur production. Certains écarts sont alors observés selon les méthodes de détermination (Villamide *et al.*, 2003).

Une synthèse de 55 matières premières communément utilisées avec leur valeur nutritive chez le lapin est présentée par Villamide *et al.* (2010) dans le tableau 2.

Tableau 2. Composition et valeur nutritionnelle de matières premières communément utilisées chez le lapin, (donnée en g. kg⁻¹), Villamide *et al.* (2010).

	DM	Ash	CP	EE	CF	NDF	ADF	ADL	Soluble fibre	ST	Sugar	Lys	Met	SAA	Thr	Ca
Cereals																
Barley	880	22	103	20	46	175	55	9	25	510	25	3.9	1.7	4.2	3.6	0.6
Maize	880	12	82	35	19	95	25	5	1	640	15	2.3	1.7	3.5	2.9	0.2
Oats	880	26	106	51	111	280	135	22	32	370	15	4.4	1.9	5.3	3.7	1
Triticale	880	18	110	16	23	125	31	9	11	570	30	3.9	1.9	4.6	3.6	0.5
Wheat	880	16	108	18	22	110	31	9	3	600	25	3.3	1.8	4.5	3.4	0.4
Cereal by-products																
Maize gluten feed	900	67	215	43	78	312	94	12	63	180	20	7.1	4.1	9	8	1.7
DDGS	900	60	253	90	81	316	89	12	66	105	10	6.6	5.1	8.9	8.9	1.4
Malt sprouts	900	61	232	19	126	378	139	18	30	110	70	10.8	3.1	6	8.1	2.1
Rice bran	900	90	135	153	81	211	101	36	11	270	30	5.9	2.1	4.4	5.3	1.2
Wheat bran	880	50	150	34	95	405	118	35	1	190	50	5.9	2.4	5.5	4.8	1.5
Wheat feed	880	40	140	40	50	271	77	24	29	270	90	5	2.5	7	5	1
Wheat shorts	880	36	158	36	70	326	100	27	34	240	50	6.3	2.6	5.7	5	1.4
Other energy concentrates																
Beet molasses	750	86	105	-	-	-	-	-	109	-	450	0.4	0.5	1	0.6	2.2
Cane molasses	750	98	45	-	-	-	-	-	137	-	470	0.2	0.2	0.4	0.5	7.4
Cassava 60	880	57	26	7	48	124	77	21	48	600	18	1	0.3	0.7	0.8	3
Cassava 65	880	57	26	7	44	95	68	20	24	650	21	1	0.3	0.7	0.8	2.5
Cassava 70	880	35	26	7	31	80	50	14	7	700	25	1	0.3	0.7	0.8	2
Glycerine	900	45	-	4	-	-	-	-	-	-	853	-	-	-	-	0.4
Legume and oil seeds																
Faba bean	880	33	257	13	77	123	89	8	29	390	35	16.8	1.8	5	9.2	1.2
Lupin	880	35	326	70	128	210	155	15	179	-	60	15.9	2.5	7.3	11.6	2.3
Peas	880	30	220	12	57	120	70	4	18	435	45	16.3	2.2	5.4	8.4	1
Rapeseed	900	41	189	396	81	181	124	49	43	-	50	11.5	4.2	9.2	8.7	4
Soybean	900	47	369	193	56	117	73	8	99	-	75	23.3	5.2	11.4	14.4	2.5
Oil meals																
Coconut cake	900	60	202	74	125	447	235	55	24	-	93	5	3	6.1	6.6	1.4
Palm cake	900	40	147	84	178	605	372	110	4	-	20	4.8	2.8	5	4.6	2.1
Rapeseed meal	900	68	361	25	121	277	189	86	79	-	90	19.4	7.6	16.2	15.7	7
Soybean meal 44	900	68	432	18	77	161	100	8	141	-	80	27.2	6	12.5	16.8	2.9
Soybean meal 46	900	63	450	18	63	132	82	6	157	-	80	28.4	6.3	13.1	17.6	2.9
Soybean meal 48	900	61	468	18	50	124	65	5	149	-	80	29.5	6.6	13.6	18.3	2.9
Sunflower meal 28	900	68	279	27	252	428	302	101	48	-	50	10	6.7	12	10.3	3.5
Sunflower meal 32	900	68	306	23	225	383	270	90	70	-	50	11.2	7.4	13.1	11.3	3
Sunflower meal 36	900	68	342	19	180	306	216	72	115	-	50	12.5	8.2	14.7	12.7	2.5
Oils and fats																
Animal fat	995	-	-	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olein	995	-	-	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rapeseed oil	995	-	-	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Soybean oil	995	-	-	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sunflower oil	995	-	-	990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fibrous feedstuffs																
Lucerne meal 12	900	90	126	23	297	475	371	83	156	-	30	5.4	1.9	3.4	5.2	14
Lucerne meal 15	900	99	153	32	261	418	326	73	168	-	30	6.6	2.3	4.1	6.3	15
Lucerne meal 18	900	99	180	36	216	346	270	60	209	-	30	7.7	2.7	4.9	7.4	16
Beet pulp	900	72	90	10	180	428	212	18	240	-	60	5.3	1.9	3.1	4.4	7.6
Cacao hulls	900	80	164	50	183	390	300	140	216	-	-	7.5	1.5	3.5	6	3
Carob meal	900	32	47	5	78	289	248	138	96	7	424	1.6	0.9	1.5	1.7	4.5
Citrus pulp	900	67	59	27	133	220	155	16	297	-	230	2	0.7	1.5	2	15.9
Flax chaff	900	76	102	35	315	455	310	110	232	-	-	3	0.5	1	1.5	18
Grape pomace	900	81	117	54	280	560	480	300	68	-	20	4.9	1.7	3.5	3.7	7
Grape seed meal	900	36	99	14	441	730	650	550	21	-	-	4	1.5	3.5	2	6
Grass meal	900	80	150	30	225	460	260	50	100	-	80	6	2	3.5	5.5	7
Olive leaves	900	72	90	40	200	455	318	177	153	-	90	-	-	-	-	11
Rice straw	900	162	60	5	295	585	340	22	88	-	-	-	-	-	-	-
Soybean hulls	900	46	122	20	355	588	426	21	114	-	10	7	1.4	3.4	4.6	5
Sunflower hulls	900	34	54	40	468	693	562	202	69	-	10	2.3	1.2	2.5	2.3	4
Wheat straw	900	61	36	12	395	750	474	80	36	5	-	-	-	-	-	3.8
Wheat straw treated	900	73	32	8	365	694	444	75	88	5	-	-	-	-	-	4.3
Whole maize plant (dehydrated)	900	36	72	25	126	360	153	10	57	330	20	2.5	0.9	1.7	2.6	3

- no analytical data available; AFD, apparent faecal digestibility; AID, apparent ileal digestibility; Ca, calcium; Cl, chlorine; nitrogen retention; Met, methionine; Mg, magnesium; Na, sodium; P, phosphorus; SAA, methionine plus cystine; ST, starch; (NaOH or KOH).

Tableau 2 : Suite.

P	Na	Cl	Mg	K	CPd	DE (MJ kg ⁻¹)	ME _n (MJ kg ⁻¹)	AFD lys	AID lys	TID lys	AFD met	AID met	TID met	AFD thr	AID thr	TID thr
3.6	0.2	1.4	1.3	5.1	0.67	12.90	12.50	0.66	0.62	0.80	0.75	0.74	0.87	0.55	0.41	0.70
2.5	0.1	0.5	1.1	3.2	0.65	13.10	12.75	0.64	0.63	0.80	0.73	0.71	0.86	0.53	0.38	0.69
3	0.2	0.7	1.3	4	0.73	10.90	10.45	0.72	0.70	0.82	0.80	0.78	0.90	0.63	0.50	0.75
3.4	0.1	0.5	1.2	4.2	0.75	12.90	12.40	0.74	0.72	0.87	0.82	0.80	0.91	0.65	0.53	0.76
3.5	0.2	0.6	1.2	4.1	0.77	13.10	12.65	0.76	0.75	0.89	0.86	0.83	0.92	0.68	0.56	0.78
8.6	2.2	2.2	3.8	9.7	0.70	11.40	10.65	0.72	0.71	0.84	0.77	0.69	0.89	0.59	0.45	0.73
7.3	0.5	2	2.9	9.7	0.70	12.70	11.75	0.70	0.69	0.84	0.77	0.69	0.89	0.59	0.45	0.73
6.6	0.6	4	1.5	11	0.75	10.80	9.90	0.75	0.74	0.87	0.82	0.73	0.91	0.65	0.53	0.76
16	0.6	0.8	10	16	0.65	12.45	11.95	0.64	0.63	0.80	0.73	0.66	0.86	0.53	0.38	0.69
10.9	0.3	0.8	4.4	11	0.74	10.30	9.75	0.74	0.73	0.86	0.81	0.72	0.91	0.64	0.51	0.76
9	0.2	0.9	4	10.2	0.79	12.35	11.75	0.80	0.79	0.89	0.85	0.76	0.93	0.70	0.59	0.79
10.5	0.3	0.8	4.2	13	0.77	11.20	10.55	0.78	0.77	0.89	0.83	0.74	0.92	0.68	0.56	0.78
0.2	8	10.8	0.5	39.1	0.70	10.65	10.25	0.70	0.69	0.84	0.77	0.69	0.89	0.59	0.45	0.73
0.9	2	20	4.2	45	0.60	10.10	9.90	0.59	0.57	0.77	0.68	0.62	0.84	0.47	0.30	0.65
1.2	0.4	1.1	1.4	12	0.50	12.05	11.95	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.35	0.15	0.58
1.1	0.3	0.7	1.1	7.5	0.50	12.50	12.40	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.35	0.15	0.58
1	0.3	0.7	0.9	4.4	0.50	13.10	12.95	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.35	0.15	0.58
2.4	16	29	0.1	*	-	14.98	14.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.3	0.2	0.7	1.5	12.4	0.80	13.05	12.00	0.81	0.80	0.91	0.86	0.77	0.94	0.71	0.61	0.80
3.2	0.5	0.4	1.7	8.5	0.80	12.70	11.40	0.81	0.80	0.91	0.86	0.77	0.94	0.71	0.61	0.80
4	0.2	0.4	1.2	10.5	0.85	13.20	12.25	0.86	0.86	0.94	0.90	0.80	0.96	0.77	0.68	0.84
6	0.3	0.6	2.4	7.9	0.78	20.90	20.10	0.79	0.78	0.89	0.84	0.75	0.93	0.69	0.58	0.78
5.6	0.1	0.3	3	17	0.85	17.35	15.80	0.88	0.86	0.94	0.90	0.80	0.96	0.77	0.68	0.84
5.4	0.6	6.3	3	18.1	0.65	12.15	11.45	0.64	0.63	0.80	0.73	0.66	0.86	0.53	0.38	0.69
5.8	0.2	1.6	2.6	6.4	0.60	10.45	10.00	0.59	0.57	0.77	0.68	0.62	0.84	0.47	0.30	0.65
10	0.7	0.3	4.5	12.5	0.76	11.35	9.95	0.76	0.76	0.88	0.83	0.74	0.92	0.66	0.55	0.77
6	0.2	0.4	2.5	18	0.82	13.35	11.60	0.83	0.82	0.92	0.88	0.78	0.95	0.74	0.64	0.86
6.1	0.2	0.4	2.7	19.5	0.83	13.95	12.05	0.84	0.84	0.93	0.89	0.79	0.95	0.75	0.65	0.87
6.4	0.2	0.4	2.8	20.5	0.84	14.70	12.70	0.85	0.85	0.93	0.90	0.80	0.95	0.76	0.67	0.87
10	0.3	1.5	5	11	0.73	9.60	8.55	0.73	0.72	0.86	0.80	0.72	0.90	0.63	0.74	0.78
9.5	0.3	1.5	5	10	0.76	10.25	9.00	0.76	0.76	0.88	0.83	0.74	0.92	0.66	0.75	0.79
9	0.3	1.6	5	11	0.80	11.10	9.65	0.81	0.80	0.91	0.86	0.77	0.94	0.71	0.76	0.80
-	-	-	-	-	-	33.45	33.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	31.40	31.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	35.15	35.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	35.55	35.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	35.55	35.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.6	0.6	3.5	2	19	0.56	6.75	6.35	0.54	0.53	0.74	0.65	0.59	0.82	0.42	0.24	0.62
2.6	0.7	4.8	2.7	21	0.60	7.4	6.95	0.59	0.57	0.77	0.68	0.62	0.84	0.47	0.30	0.65
2.7	0.8	4.9	3	25	0.64	8.3	7.7	0.63	0.62	0.80	0.72	0.65	0.86	0.52	0.36	0.68
1	2	1	2.3	4.9	0.50	10.4	10.1	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.35	0.15	0.58
3.5	0.8	1.5	4	25	0.50	5.45	5.2	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.35	0.15	0.58
1	0.2	1.5	0.5	0	0.20	9	8.9	0.14	0.12	0.49	0.33	0.34	0.65	0.00	0.00	0.36
1.2	1	0.6	1.4	7.1	0.60	11.3	11.05	0.59	0.57	0.77	0.68	0.62	0.84	0.47	0.30	0.65
3	0.6	0.9	1	9	0.40	4.4	4.15	0.36	0.34	0.63	0.51	0.48	0.75	0.23	0.05	0.51
2	0.1	0.1	1.2	16	0.15	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2	0.1	0.1	1	6	0.10	3.35	3.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1	0.8	2	25	0.55	8.1	7.65	0.53	0.52	0.73	0.64	0.59	0.82	0.41	0.00	0.62
0.8	1.7	4.5	1.9	-	-	5.35	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	2.5	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.6	0.2	0.3	2	12.6	0.50	7.2	6.85	0.47	0.46	0.70	0.60	0.55	0.79	0.00	0.15	0.58
2	1	1	1.7	10.5	0.15	4.3	4.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8	1.6	4.6	0.9	9.5	0.20	2.7	2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.6	8.6	4.3	0.7	8.9	0.25	3.7	3.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8	-	-	1.8	-	0.46	8.52	8.32	0.43	0.41	0.67	0.56	0.52	0.77	0.30	0.09	0.55

CPd , apparent faecal crude protein digestibility; K, potassium; Lys, lysine; ME_n, metabolizable energy corrected for zero Thr, threonine; TID, true ileal digestibility; DDGS, dry distillers grains and solubles; *, depends on the neutralizer used

Les tables de composition et de valeur nutritive des matières premières utilisées pour la formulation des aliments destinés aux lapins en élevage rationnel sont régulièrement mises à jour. Elles contiennent des données de plus en plus récentes et précises sur la composition chimique et la valeur nutritive (composition en ED et PD) de matières premières utilisables en alimentation de lapin. Les tables du groupe EGRAN (European Group on Rabbit Nutrition, présentées par Gidenne, (1999) publiées par Maertens *et al.* (2002) représentent par leur synthèse une référence importante. Ces tables sont l'aboutissement des travaux sur la standardisation de la méthode de mesure *in vivo* de la digestibilité des aliments (Perez *et al.*, 1995).

La mise en place des tables online "*Feedipedia*" depuis 2013, Tran *et al.* (2013) sur le site (www.feedipedia.org) comportant des valeurs alimentaires exhaustives pour les animaux des régions tropicales et méditerranéennes constitue une base de données complète et régulièrement mise à jour. Elle est destinées aux utilisateurs d'aliments des régions tropicales, subtropicales et méditerranéennes. Cette encyclopédie évolutive en ligne sur les matières premières et fourrages destinés aux animaux du monde entier propose ainsi une approche de l'alimentation animale universelle et actualisée. Elle fournit en libre accès des données sur la nature, la composition chimique, la valeur nutritionnelle d'environ 1400 sources alimentaires de bétail à travers le monde, en 2016. Ces données concernent également des ressources non conventionnelles et moins connues sont mises à la disposition de tous les acteurs du secteur de l'élevage.

I.3.1 Méthodes de détermination de la valeur nutritive de matières premières utilisées chez le lapin

D'importants progrès ont été réalisés dans l'estimation des valeurs nutritives des matières premières utilisées dans les aliments pour lapins.

Plusieurs méthodes sont utilisées (Maertens et Lebas, 1989; Villamide, 1996; Villamide *et al.*, 2001, 2003, 2010 et 2016). Elles sont basées sur les mesures de digestibilité fécale, dont la méthode a été standardisée en 1995 par le groupe EGRAN (Perez *et al.*, 1995).

La **méthode directe** est basée sur l'utilisation de la matière première à tester comme seul aliment lorsqu'elle n'est pas inappétente et que sa composition est proche de celle d'un aliment pour lapins (Maertens et De Groote, 1981). Cette méthode n'est pas largement utilisée vu que la plus part des matières premières ne répondent pas seules aux besoins nutritionnels des lapins.

Dans la détermination de la valeur nutritive des matières premières et coproduits en alimentation du lapin en croissance il est souvent fait appel aux **méthodes indirectes**. Parmi celles-ci, la méthode de **substitution** ou par **différence** (Villamide *et al.*, 2001). Elle est basée sur l'utilisation d'un taux d'incorporation unique. Elle consiste en une substitution d'une certaine quantité de l'aliment de base par la matière première à étudier. Une mesure de digestibilité des deux aliments est effectuée. La valeur nutritive (ED et PD) de la matière étudiée sera alors estimée après calcul par différence de sa digestibilité par rapport au régime de base. Lorsque des interactions sont présupposées entre la ration de base et le produit étudié (matières premières riches en lipides .. etc.), ou que le taux d'incorporation est limité, il est préférable d'employer des taux d'incorporation en gammes (Maertens et Lebas, 1989). Cette méthode utilise plusieurs niveaux d'incorporation couplé avec une analyse de régression pour décrire l'évolution de l'EDA des aliments. La valeur nutritive de la matière première étudiée est alors calculée par extrapolation à partir de l'équation calculée et du taux d'incorporation.

Des équations de prédiction de la valeur nutritive ont été développées, (Maertens *et al.*, 1988; 1990). Lorsque seule la composition chimique et/ou la valeur nutritive correspondante pour d'autres espèces tels que les ruminants sont disponibles, ces équations de prédiction peuvent être utilisées pour des sources alimentaires locales ou nouvelles (Lebas, 2016).

D'autres techniques peuvent aussi être utilisées dans l'estimation de la valeur nutritive des matières premières destinées aux lapins. L'estimation de la digestibilité par la méthode *in vitro* n'est pas très largement utilisée chez le lapin (Ramos *et al.*, 1992; Villamide *et al.*, 2009).

Plus récemment, Villamide *et al.* (2016) ont étudié la prédiction de la digestibilité iléale et fécale de l'azote et des acides aminés par la méthode *in vitro* de quelques matières premières communément utilisées en alimentation du lapin.

Une autre méthode, instrumentale aux multiples avantages est également utilisée, la Spectrométrie proche infrarouge ou NIRS (Near-Infrared reflectance Spectroscopy), (Given *et al.*, 1997; Xiccato *et al.*, 1999; 2003; Pérez-Marín *et al.*, 2012). Celle ci présente l'avantage de ne pas "détruire" l'échantillon mais reste encore peu utilisée.

I.3.2- Importance et impact sur la formulation

Des études sur la valeur nutritive de matières premières, fourrages et coproduits des industries agro alimentaires et non agro alimentaires (IAA et INA) auront un impact positif sur la diversification de la formulation d'aliments granulés équilibrés. La stratégie d'innovation et de

diversification des sources peut réduire la dépendance aux importations et assurer une meilleure autonomie de la filière.

D'énormes progrès sont réalisés en nutrition du lapin, des recommandations sont disponibles à travers les différentes tables citées dans la littérature (INRA-AFZ ou Sauvant *et al.* (2004) ; Maertens *et al.* (2002); les tables FEDNA (2010) mais surtout sur (www.feedipedia.org). Cependant, pour certaines matières premières potentiellement utilisables en formulation d'aliments pour lapins, les valeurs de l'énergie et des protéines digestibles ne sont pas toujours disponibles. Pour palier ces carences Lebas, (2016) a proposé des équations de prédiction pour estimer la valeur nutritive et formuler des aliments équilibrés pour lapins.

Les équations proposées ne remplacent cependant pas les valeurs déterminées par des essais *in vivo* . A cet effet, d'importantes perspectives s'imposent pour la détermination de la valeur nutritive de nouvelles sources peu ou pas connues, notamment des coproduits valorisables en formulation d'aliments selon leur disponibilité dans différentes régions, Quansah et Makkar, (2012).

La prise en compte de la variabilité naturelle et technologique des matières premières et des coproduits notamment permet de maîtriser les écarts de composition du produit fini. Lebas (2006) souligne que la non-prise en compte de la variabilité naturelle (biologique ou technologique) des matières premières conduit à des aliments finis dont la composition s'écarte trop des valeurs théoriques calculées.

L'aptitude que présente le lapin à valoriser des sources fibreuses très diversifiées et des coproduits laisse de multiples possibilités pour leur incorporation dans les aliments granulés. Dans des synthèses sur la diversification de matières premières fibreuses notamment Gidenne, (2003) et Lebas, (2004) ont étudié l'incorporation d'un grand nombre de matières premières. La forte intégration de fourrages pouvant atteindre 50% (Fernandez-Carmona *et al.*, 1998; Maertens, 2009b) offre davantage de solutions aux formulateurs. Ainsi, de nouvelles sources alternatives sont constamment prospectées et la détermination de leur valeur nutritive reste une étape fondamentale pour leur valorisation et l'enrichissement les tables de composition des matières premières.

Cette préoccupation a déjà vu le jour en Europe dès l'embargo américain de 1973 qui a contraint l'Union Européenne (UE) à subventionner la production de protéagineux (pois et féverole) pour faire face à la forte dépendance en protéines végétales.

Cette dépendance chronique que connaît la situation de ce secteur en Algérie pénalise lourdement l'essor de la cuniculture nationale. Le tourteau de soja, le maïs ainsi que la luzerne importés et qui composent principalement la formule classique de l'aliment granulé pour lapins sont à l'origine du prix élevé de l'aliment. La diversification des sources alimentaires utilisables

en formulation en se référant notamment aux recommandations récentes en nutrition des lapins (De Blas *et al.*, 2010; Gidenne *et al.*, 2015) ouvre de nouvelles perspectives pour un meilleur rapport qualité /prix et disponibilité de l'aliment pour lapins

Références bibliographiques

- Abecia L., Rodríguez-Romero N., Yañez-Ruiz D.R., Fondevila M. 2012. Biodiversity and fermentative activity of caecal microbial communities in wild and farm rabbits from Spain. *Anaerobe*, 18, 344-349.
- Aitken F.C., Wilson W.K. 1962. Rabbit feeding for meat and fur. *C.A.B. edition Londres*, 962, 66p.
- Álvarez J.L., Margüenda I., García-Rebollar P., Carabaño R., De Blas C., Corujo A., García-Ruiz A.I. 2007. Effects of type and level of fibre on digestive physiology and performance in reproducing and growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 15:9-17. doi:10.4995/wrs.2007.61
- Aguirre J., Fernandez J I., De Blas C., Fillat F. 2000. Traditional management of the rustic rabbit in mountain areas: the case of the Gistain valley of the central Pyrenees of Huesca (Spain). *Proceedings of the 7th World Rabbit Congress, Valencia (Spain)*. CD Rom.
- Awad A. L., Hussein M.A.A , Ghonim A.I.A., Kasim M.G. 2011. Effect of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles on laying performance in domyati ducks. *Anim. Prod. Res. Institute, Agric. Res. Center , Ministry of Agric.Dokki, Giza*.
- Barkok A. 1992. Quelques aspects de l'élevage du lapin au Maroc. *Options méditerranéennes, CIHEAM*, série A, n°17-19-22. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a17/92605157.pdf>
- Berchiche M., Lebas F. 1994. Rabbit rearing in Algeria: family farms in the tizi-ouzou area. *1st international conference on rabbit production in hot climates*, 8 sept.1994 (cairo, Egypt), *Option méditerranéennes* 409-413.
- Berchiche M., Kadi S. A., Lebas F. 2000. Valorisation of wheat byproducts by growing rabbits of local Algerian population. *In Proc.: 7th World Rabbit Congress, 4-7 July, 2000, Valencia, Spain. Vol.C: 119-12*
- Bergaoui R. 1992. L'élevage du lapin en Tunisie peut contribuer à résoudre le problème de déficit en viande du pays. *Options Méditerranéennes -Série Séminaires -n°17*, 23-32. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a17/92605158.pdf>
- Bonnafous R., Raynaud P. 1967. Recherches sur le rôle du côlon dans la dualité de l'excrétion fécale du Lapin. *Arch. Sci. physiol.*, 21, 261.

- Bonnafous R., Raynaud P. 1970. Recherches sur la variation de la densité des microorganismes dans le colon du lapin domestique. *Experientia* 26, 52.
- Boudouma D. 2009. Composition chimique du son de blé dur produit par les moulins industriels algériens. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (10).
<http://www.lrrd.org/lrrd21/10/cont2110.htm>
- Braeunlich K., Chemillier J. 1968. L'alimentation du lapin. Première partie. L'étude des besoins. *Hoffman- Laroche et Cie, ed. Paris, 1966,78p.*
- Braine A., Coutelet G., 2012. Economie de la filière cunicole française. Situation à l'automne 2012. *Cuniculture Magazine*, 39, 67-74.
- Carabaño R., Fraga M.J. 1992. The use of local feeds for rabbits. *Rabbit production and genetics in the Mediterranean area. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 1991. p. 141-158.*
- Carabaño R., Nicodemus N., García J., Xiccato G., Trocino A., Pascual J.J., Falcao-e-Cunha L., Maertens L., 2008. *In vitro* analysis, an accurate tool to estimate dry matter digestibility in rabbits: intra- and inter- laboratory variability. *World Rabbit Sci.* 16, 195–203.
- Catala J., 1976. Variations du comportement alimentaire, de la croissance, et de la digestibilité chez des lapins à canal pancréatique ligaturé. *Ann. Biol. anim. Bioch. Siophys.*, 16, 687-697.
- Cheeke, P. R., 1987. Rabbit Feeding and Nutrition. *New York Academic Press, 1987.*
- Colin M., Lebas F. 1996. Rabbit meat production in the world. A proposal for every country. 6th world rabbit congress, Toulouse 1996, vol.3.323-330.
- Combes S., Cauquil L., 2006. Viande de lapin et oméga 3 : Une alimentation riche en luzerne permet d'enrichir la viande des lapins en oméga 3. *Viande et Produits Carnés*, 25 (2) 31-35.
- Combes S., Fortun-Lamothe L., Cauquil L., Gidenne T. 2012. Controlling the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *In proceeding Of the 10th WRC, September 3-6, 2012, Sharm El- Sheikh, Egypt.*
- Coutelet G., 2015a. Gestion technico-économique des éleveurs de lapins de chair, programme *Renaceb et Renalap, Résultats 2014, 64p.*
- Coutelet G., 2015b. Réseau de fermes de références cunicoles. *Programme Cunimieux, Résultats de la campagne 2013-2014,50p.*
- Coutelet G., 2014. *Centralisation des GTE des éleveurs de lapins de chair : Programmes RENACEB et RENALAP (résultats 2013). Comité de pilotage octobre 2014, Paris.*
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Skiba F., Noblet J., 2010. Energy value of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 88, 2382-2392.
- Creswell D. C. 2006. DDGS Benefits and Limitations. *Asian Poultry Magazine. pp: 22-24.*
- Dalle Zotte A., 2014. Rabbit farming for meat purposes. *Animal frontiers, oct. 2014. Vol.4, n°4.*

- De Blas C., García J., Carabano R. 1999. Role of fibre in rabbit diets. A review. *Ann. Zootech.* 48; 3-13
- De Blas C., Mateos G.G. 2010. Feed formulation. In: De Blas, C., Wiseman, J. (Eds.), *Nutrition of the rabbit*, CABI, 222-232.
- De Blas J.C., Rodríguez C.A., Bacha F., Fernández R., Abad-Guamán R. 2015. Nutritive value of co-products derived from olive cake in rabbit feeding. *World Rabbit Sci.* 2015, 23: 255-262 [doi:10.4995/wrs.2015.4036](https://doi.org/10.4995/wrs.2015.4036).
- Djellal F., Mouhous A., Zerrouki N. 2006. Traditional rabbit production in kabylian area (Algeria). *The 4th Inter. Con. on Rabbit Prod. in Hot Clim., Sharm El-Sheikh, Egypt*, 409-413. CD Rom.
- Dorbane Z., Kadi SA., Boudouma D., Berchiche M., Bannelier C., Gidenne T. 2016. Nutritive value of crude olive cake (*Olea europea* L.) for growing rabbit. In *Proceeding of the 11th World Rabbit congress, June 15-18, 2016-Qingdao-China*.
- FEDNA 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.), de Blas, C., Mateos, G.G., García-Rebollar, P. (Eds). *Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, Spain*.
- Fernandez Carmona J., Cervera C., Blas E. 1996. Prediction of the energy value of the rabbit feeds varying widely in fibre content. *Anim. Feeding sci. tech.*, 64, 61-75.
- Fernandez-Carmona J., Bernat F., Cervera C., Pascual J.J. 1998. High lucerne diets for growing rabbits. *World Rabbit Science, Vol. 6(2)*, 237-240
- Fernandez-Carmona J., Blas E., Pascual J.J., Maertens L., Gidenne T., Xiccato G., Garcia J. 2005. Recommendations and guidelines for applied nutrition experiments in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 13: 209-228
- Gidenne T., 1999. EGRAN: An European Group for Rabbit Nutrition. Presentation and activity. *World Rabbit Sci.*, 7, 101-106
- Gidenne T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livestock Production Science* 81(2-3): 105-117.
- Gidenne T., Mirabito L., Jehl N., Perez J.M., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Duperray J., Corrent E. 2004. Impact of replacing starch by digestible fibre, at two levels of lignocellulose, on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Anim. Sci.* 78: 389-398.
- Gidenne T., Lebas F. 2005. Le comportement alimentaire du lapin. In *Proc. 11^{èmes}. J. R.C.*, 29-30 novembre 2005, Paris, 183-196.

- Gidenne T., Lebas F. 2006. Feeding behaviour in Rabbits. In Bels V. Feeding in domestic vertebrates, from structure to behaviour. *Cab international Ed. Wallingford UK*, 179-194
- Gidenne T., Carabaño R., Badiola I., Licois D. 2007. L'écosystème caecal chez le lapin domestique: Impact de la nutrition et de quelques facteurs alimentaires. Conséquences sur la santé digestive du lapereau. 12^{èmes} J R C, 27-28 nov, Le Mans, France.
- 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*, p1-13 [doi:10.1017/S1751731112000389](https://doi.org/10.1017/S1751731112000389)
- Gidenne T., Aubert C., Drouilhet L., Garreau H. 2013. L'efficacité alimentaire en cuniculture: impacts technico-économiques et environnementaux. 15^{èmes} JRC, 19-20 novembre 2013.
- Gidenne T. 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9:2, pp 227–242.
[doi:10.1017/S1751731114002729](https://doi.org/10.1017/S1751731114002729).
- Gidenne T., Lebas F., Saviotto D., Dorchie P., Duperray J., Davoust C., Fortun-lamothe L. 2015. Nutrition et alimentation. in : *Le lapin : de la biologie à l'élevage* (Gidenne T., ed.), *Quae publ.* 137-182
- Givens D.I., De Boever J.L. Deaville E.R. 1997. The principles practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutr. Res. Rev.* 10, 83-114.
- Gómez-Conde M.S., Pérez de Rozas A., Badiola I., Pérez-Alba L., de Blas C., Carabaño R., García J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest. Sci.* 125:192-198
- Hoffmann, L.A., Baker, A., 2011. Estimating the substitution of distillers' grains for corn and soybean meal in the U.S. feed complex. A report from the Economic Research Service, United States Department of Agriculture. <http://www.ers.usda.gov/Publications/FDS/2011/09Sep/FDS11101/FDS11101.pdf>
- INRA 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. *INRA ed.*
- INRA 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles (2^e édition). *INRA ed.*
- INRA. 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. 2^{ème} Edition revue et corrigée. *INRA Editions, Paris, France.*
- Kadi S.A. 2012. Alimentation du lapin de chair : valorisation de sources de fibres disponibles en Algérie. Thèse de doctorat, UMMTO, 143p.

- Kadi S.A., Belaidi-Gater N., Chebat F. 2004. Inclusion of crude olive cake in growing rabbits diet: Effect on growth and slaughter yield. In Proc.: *8th World Rabbit Congress, 7-10 September, 2004. Puebla, Mexico. 1: 1202 -1207.*
- Kadi S.A., Guermah H., Bannelier C., Berchiche M., Gidenne T. 2011. Nutritive value of sun-dried sulla (*Hedysarum flexuosum*), and its effect on performance and carcass characteristics of the growing rabbit. *World Rabbit Sci., 19:151-159.*
- Knudsen C. 2014. Stratégies de limitation de l'ingestion chez le lapin: optimisation des performances zootechniques, impacts physiologiques et conséquences sur la sante digestive. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse : Spécialité : Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition. 284p.
- Lakabi D., Lounaoui G., Berchiche M., Lebas F., Lamothe L. 2008. The effects of the complete replacement of barley and soybean meal with hard wheat by- products on diet digestibility, growth and slaughter traits of local Algerian rabbit population. *W. R. Sci., 16: 99-106.*
- Lebas F., 1969. L'alimentation du lapin. *L'alimentation et la vie, 57, 245,268.*
- Lebas F., 1971. Le lapin de chair, ses besoins nutritionnels et son alimentation pratique. Supp. Nouvelles de l'aviculture 153, déc.1971, 35p.
- Lebas F., 1975. Le lapin de chair, ses besoins nutritionnels et son alimentation pratique. *ITAVI éditeur (Paris) 50 p.*
- Lebas F., 1983. Bases physiologiques du besoin protéique des lapins. Analyse critique des recommandations. *4^{ème} Symposium International Métabol. Nut. azotés. Les Colloques de l'INRA, n°16, 323-341 et Cuni-Sciences, 1, 16-21*
- Lebas F., 1984. L'élevage fermier du lapin : contraintes et avantages par rapport à l'élevage industriel. *Colloque Technique Franco-Algérien sur techniques nouvelles dans la filière avicole. 3^{ème} Session Constantine, (Algérie)21-28 mars1984, 5p.*
- Lebas F., 1989. Besoins nutritionnels des lapins. Revue bibliographique et perspectives. *Cuni-Sciences, 5, 1-28.*
- Lebas F. 2004. Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. *Proc. 8th of World Rabbit Congress, Puebla, Mexico 686-736.*<http://cuniculture.info/Docs/Documentation/Publi-Lebas/2000-2009/2004-Lebas-WRC-Revue-sources-matières-premières-Puebla.pdf>.
- Lebas F. 2005. La physiologie digestive au 8^e Congrès Mondial de Cuniculture. *Cuniculture Magazine, vol.32 (2).p :19-30.*
- Lebas F., 2013. Feeding strategy for small and medium scale rabbit units. *3rd Conference of Asian Rabbit Production Association - Bali Indonesia - 27-29 August 2013, 15 pp*

- Lebas F., 2016. Estimation of digestible energy content and protein digestibility of raw materials by the rabbit, with a system of equations. *11th World Rabbit congress, June 15-18, 2016-Qingdao, -China.*
- Lebas F., Laplace J.P. 1974. Sur l'excrétion fécale chez le Lapin. *Ann. Zootech.*, 23, 577.
- Lebas F., Coudert P., De Rochambeau H., Thébault R.G. 1996. Le lapin, élevage et pathologie. 2^{ème} édition révisée, *FAO. Rome*, 223 p.
- Lebas F., Gidenne T., Perez J.M., Licois D. 1998. Nutrition and pathology. In: The nutrition of the rabbit. *Ed. De Blas. & Wiseman, CABI publishing, Wallingford, UK*, 197-214.
- Liu H. W., Dong X.F., Tong J. M., Zhang Q. 2010. Alfalfa polysaccharides improve the growth performance and antioxidant status of heat-stressed rabbits. *Livestock Sci* 131, 88-93.
- Lounaouci-Ouyed G., Lakabi D., Berchiche M., Lebas F. 2009. Effets d'un apport de paille en complément d'un aliment granulé pauvre en fibres sur la digestion, la croissance et le rendement à l'abattage de lapins de population locale algérienne. *13^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 17-18 novembre 2009, Le Mans, France.*
- Lounaouci-Ouyed G., Berchiche M., Gidenne T. 2011. Effets de l'incorporation de taux élevés (50 à 60%) de son de blé dur sur la mortalité, la digestibilité, la croissance et la composition corporelle de lapins de population blanche dans les conditions de production algériennes. *14^{ème} Journ. Rech. Cunicole : 13-16.*
- Lounaouci-Ouyed G., Berchiche M., Gidenne T. 2014. Effects of substitution of soybean meal-alfalfa-maize by a combination of field bean or pea with hard wheat bran on digestion and growth performance in rabbits in Algeria. *World Rabbit Sci.* 2014, 22: 137-146
<http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2014.1487>
- Lukefahr S.D. 2007. Strategies for the development of small- and medium-scale rabbit farming in South-East Asia. *Livestock Research for Rural Development*, 19 (138).
<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/9/luke19138.htm>.
- Lukefahr S.D., Cheeke P.R. 1991. Rabbit project development strategies in subsistence farming systems. *World Animal Review*, 6, 60-70. <http://www.fao.org/docrep/U5700T/u5700T0d.htm>
- Marlier D., Dewree R., Delleur V., Licois D., Lassence C., Poulipoulis A., Vindevogel H., 2003. A review of the major causes of digestive disorders in the European rabbit. *Ann. Med. Vet.* 147, 385-392.
- Maertens L., 2009b. Feeding rabbits. In: *Kellems R. and D.C. Church (Ed.), Livestock Feeds and Feeding (6th Edition), Prentice Hall, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ (USA)*, 488-508.

- Maertens L., De Groot G. 1981. L'énergie *digestible* de la farine de luzerne déterminée par des essais de digestibilité avec des lapins de chair. *Rev. Agric.*, 34, 79- 92.
- Maertens L., Lebas F. 1989. Mesure de la valeur énergétique des aliments et des matières premières chez le lapin : une approche critique. *Cuni-Sciences - Vol. 5 -Fasc. 2.* 35-46.
- Maertens L., Moermans R., De Groot G., 1988. Prediction of the apparent digestible energy content of commercial pelleted feeds for rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*,1, 60-67.
- Maertens L., Janssen W.M.M.A., Steenland E.M., Wolters D.F., Branje H. E. B., Jager F., 1990. Table de composition, de digestibilité et de valeur énergétique des matières premières pour lapins. *5^{èmes}JRC. Paris. 12-13 Décembre, 1990, communication 57 (9p), ITAVI ed., Paris.*
- Maertens L., Salifou E. 1997. Feeding value of brewer's grains for fattening rabbits. *World Rabbit Sci. 5:161-165.*
- Maertens L., Gidenne T. 2016. Feed efficiency in rabbit production: nutritional, technico-economical and environmental aspects In proceeding of the *11thWorld Rabbit Congress-June 15-18,2016-Qingdao-China*
- Mertens D.R., 2002. Gravimetric determination of amylase- treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *J. AOAC Int.* 85: 1217-1240.
- Michelland RJ., Combes S., Monteils V., Cauquil L., Gidenne T., Fortun-Lamothe L. 2011. Rapid adaptation of the bacterial community in the growing rabbit caecum after a change in dietary fibre supply. *Animal 5, 1761–1768.*
- NRC.1977. Nutrient Requirements of Rabbits. *2nd revised ed. National Academy of Science, National Research Council, Washington, DC, USA.*
- Oseni SO., Lukefahr S.D. 2014. Rabbit Production in low-input systems in africa: Situation, knowledge and perspectives:a review. *World Rabbit Sci.*,22:147-160
[doi:10.4995/wrs.2014.1348](https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1348).
- Parigi Bini R. 1968. Diete ad alta energia per conigli da carne. Contributo sperimentale. *Riv. loot. 41, 145-159.*
- Parigi Bini R., Xicato G., 1998. Energy metabolism and requirements. In: *De Blas, J.C and Wiseman, J. (Eds.) The Nutrition of the Rabbit.CAB International, Wallingford, UK,103-131.*
- Perez J.M., Lebas F., Gidenne T., Maertens L., Xicato G., Parigi-Bini R., Dalle Zotte A., Cossu M.E., Carazzolo A., Villamide M.J., Carabaño R., Fraga M.J., Ramos M.A., Cervera C., Blas E., Fernández-Carmona J., Falcao E Cunha L., Bengala Freire J. 1995. European

- reference method for in-vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 3: 41-43.
- Perez J.M., Gidenne T., Bouvarel I., Arveaux P., Bourdillon A., Briens C., La Naour J., Messenger B., Mirabito L. 2000. Replacement of digestible fibre by starch in the diet of growing rabbits. II. Effects on performances and mortality by diarrhoea. *Ann. Zootech.* 49: 369-377.
- Pérez-Marín D., Fearn T., Guerrero J.E., Garrido-Varo A. 2012. Improving NIRS predictions of ingredient composition in compound feedingstuffs using Bayesian non-parametric calibrations. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 110, 108-112
- Proto V. 1980. Alimentazione del coniglio da carne. *Coniglicoltura*, 17 (7): 17-32.
- Petkova M., Grigorova S., Abadjieva D. 2011. Biochemical and physiological changes in growing rabbits fed different sources of crude fiber. *Biotechnology in Animal Husbandry* 27 (3), p 1367-1378, 2011. DOI: 10.2298/BAH1103367P
- Quansah E.S., Makkar H.P.S. 2012. Use of lesser-known plants and plant parts as animal feed resources in tropical regions. *FAO, Animal Production and Health, Working Paper*, 8.
- Ramos M.A., Carabailo R., Boisen S., 1992. An in vitro method for estimating digestibility in rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15: 938-946.
- Rouvier R. 1991. Les travaux du groupe "Réseau de recherches sur la production de lapin dans les conditions méditerranéennes" de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Zaragoza, depuis 1987. *CIHEAM options méditerranéennes* 27-31. CD Rom.
- Ruckebusch Y., Perret J. P., Laplace J. P., 1966. Étude comparée de la teneur en acides gras volatils du sang et du rumen; analyse quantitative par chromatographie en phase gazeuse. *C. R. Soc. Biol. Fr.*, 160, 125-4.
- Samkol M., Lukefar S. 2008. A challenging role for organic rabbit production towards poverty alleviation in south east asia. In *Proc.: 9th World Rabbit Congress, June 10-13, 2008-Verona-Italy*.
- Soler M.D., Blas E., Cano J.L., Pascual J.J., Cervera C., Fernandez-Carmona J., 2004. Effect of digestible fiber/starch ratio and animal fat level in diets around weaning on mortality rate of rabbits. *8th World Rabbit Congress, 7-10 September, Puebla, Mexico*.
- Stein H.H., Shurson G.C. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.*, 87: 1292-1303. doi:10.2527/jas.2008-1290
- Tran G., Heuzé V., Bastianelli D., Archimede H., Giger-Reverdin S., Sauvant D. 2013. Tables of nutritive values for farm animals in tropical and Mediterranean regions: An important asset for improving the use of local feed resources. In: Ben Salem H. (ed.), López-Francos A.

- (ed.). Feeding and management strategies to improve livestock productivity, welfare and product quality under climate change. *Zaragoza : CIHEAM / INRAT / OEP / IRESA / FAO, 2 01 3. p. 85-9 0 (Option Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n .107).*
- Trocino A., García J., Carabaño R., Xiccato G. 2013. A meta- analysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci., 21: 1-15. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2013.1285>*
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.,74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)*
- Vántus V., Dalle Zotte A., Kovács M., Dal Bosco A., Szendrő, Zs., Zsolnai A. 2012. Dietary Supplementation of spirulina (*arthrospira platensis*) and thyme (*thymus vulgaris* l.). part 3: effect on caecal bacterial community in growing rabbits. *In proceeding Of the 10th WRC, September 3-6 2012, Sharm El- Sheikh, Egypt*
- Verstegen, M. W. A., Tamminga, S., 2005. The challenges in animal nutrition in the 21st century. In: Babinszky, L. (ed.) *12th International Symposium on Animal Nutrition, University Press, Kaposvár, Hungary, 3-30.*
- Villamide J.M., De Blas J.C., Carabaño R. 1989. Nutritive value of cereal byproducts for rabbits: wheat bran, corn gluten feed and dried distillers grains and soluble. *J. Appl. Rabbit Res., 12 : 152-155.*
- Villamide M.J., 1996. Methods of energy evaluation of feed ingredients for rabbits and their accuracy. *Anim. Feed Sci. Technol., 57: 211-223.*
- Villamide M.J., Maertens L., De Blas C., Perez J.M., 1998. Feed evaluation. *In: De Blas C., Wiseman J. (Eds), The Nutrition of the rabbit. CABI Publishing, CAB International, Wallingford Oxon (UK), 89-102.*
- Villamide M.J., Maertens L., Cervera C., Perez J.M., Xiccato G. 2001. A critical approach of the calculation procedures to be used in digestibility determination of feed ingredients for rabbits. *World Rabbit Sci., 9: 19-26.*
- Villamide M.J., Garcia J., Cervera C., Blas E., Maertens L., Perez J.M. 2003. Comparison among methods of nutritional evaluation of dietary ingredients for rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.,109: 195-207*
- Villamide M.J., Carabaño R., Maertens L., Pascual J., Gidenne T., Falcao-E-Cunha L., Xiccato G. 2009. Prediction of the nutritional value of European compound feeds for rabbits by chemical components and in vitro analysis. *Animal Feed Science and Technology 150, 283-294.*

- Villamide M.J., Maertens L., De Blas C. 2010. Feed Evaluation. *In: De Blas, C., Wiseman, J. (Eds.), Nutrition of the rabbit, CABI, 151-162.*
- Villamide M.J., Llorente A., García A.I., Carabano R. 2016. Nitrogen and amino acid ileal and faecal digestibility of rabbit feeds predicted by an in vitro method. *Animal Feed Science and Technology* 219 (2016) 210–215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci>
- Xiccato G., Trocino A., Carazzolo A., Meurens M., Maertens L., Carabaño R. 1999. Nutritive evaluation and ingredient prediction of compound feeds for rabbits by near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Anim. Feed Sci. Technol.* 77, 201-212.
- Xiccato G., Trocino A., Carraro L., Fragkiadakis M. 2006. Digestible fibre to ADF ratio and protein concentration in diets for earlyweaned rabbits. *In Proc.: 3rd Rabbit Congress of America, 21-23 August, 2006. Maringá, Brasil. Comm. 35: 1-6.*
- Xiccato G., Trocino A., Tazzoli M., Majolini D., Carabaño R., Villamide M.J., García J., Nicodemus N., Abad R., Blas E., Cervera C., Ródenas L., Martínez E., Falcão-e-Cunha L., Bengala Freire J.P., Maertens L., Bannelier C., Segura M., Gidenne T. 2012. European ring-test on the chemical analyses of total dietary fibre and soluble fibre of compound diets and raw materials for rabbits. *In Proc.: 10th World Rabbit Congress, 3-6 September, 2012. Sharm El-Sheik, Egypt. pp. 453-471. Available at <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2012-Egypt/Papers/03>*

Partie II

Etude expérimentale

Objectifs

Des travaux sont menés depuis plus de deux décennies par l'équipe de recherche du Professeur Berchiche à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou en vue d'apporter une contribution au développement de la cuniculture. Les possibilités de substitution des matières premières importées qui composent l'aliment granulé par des sources locales ont été étudiées. A l'instar des travaux antérieurs, cette thèse s'insère dans cette thématique.

Son objectif principal est la caractérisation de sources alimentaires nouvelles en vue de leur incorporation dans l'aliment granulé pour lapins.

Les essais sont orientés vers la prospection de sources alimentaires alternatives, essentiellement sources de fibres. L'utilisation de nouvelles sources dans l'aliment granulé passe nécessairement par la détermination de leur valeur nutritive pour le lapin.

Les travaux de cette thèse portent, d'une part sur la détermination de valeur nutritive de sources alternatives et d'autre part sur leur valorisation par le lapin. La détermination de la valeur nutritive de sources alternatives constitue un pré requis avant la détermination des taux optimum de leur intégration dans l'aliment granulé pour lapins.

Cette thèse est présentée sous forme de publications, avec exposé des résultats des essais réalisés. Elle est structurée en quatre parties :

- 1- La pulpe de chicorée déshydratée comme source alternative de fibres solubles dans l'alimentation du lapin en croissance.
- 2- La valeur nutritive de la pulpe de chicorée déshydratée chez le lapin en croissance.
- 3- La valeur nutritive de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs plante entière chez le lapin en croissance.
- 4- La valeur nutritive de la drêche de bioéthanol (DDGS) chez le lapin en croissance.

Dans les deux premières parties, la pulpe de chicorée déshydratée a fait l'objet de détermination de sa valeur nutritive et de l'étude des performances de croissances et paramètres d'abattages permises par cette source alternative de fibres solubles chez le lapin en croissance.

Dans la troisième partie, nous avons réuni l'étude de la détermination de la valeur nutritive de l'ensilage de maïs en plante entière, fourrage largement utilisé en alimentation des ruminants mais très peu étudié chez le lapin et de la drêche de brasserie. Ce coproduit de l'industrie brassicole est également très utilisé chez les ruminants.

En quatrième partie nous avons déterminé la valeur nutritive de la drêche de bioéthanol appelée aussi DDGS, (Dried Distillers Grains with Solubles) une mixture de blé, de sorgho et de triticales. Ce coproduit riche en fibres et en protéines est très peu étudié chez le lapin.

La détermination de la valeur nutritive chez le lapin de ces sources alimentaires vise leur incorporation dans l'aliment granulé pour lapins offrant ainsi de nouvelles perspectives en formulation.

II-1. LA PULPE DE CHICOREE DESHYDRATEE (*CICHORIUM INTYBUS L.*) COMME SOURCE ALTERNATIVE DE FIBRES SOLUBLES DANS L'ALIMENT DU LAPIN EN CROISSANCE

La chicorée (*Cichorium intybus L.*) appartient à la famille des astéracées (*Asteraceae*).

Elle est utilisée comme plante médicinale depuis environ 4 000 ans Plumier, (1972) bien avant qu'on ne la consomme comme succédané de café. Cette plante a pour noms communs : chicorée sauvage, chicorée amère, cheveux de paysan, escourbette, herbe à café ou barbe de capucin. A la fois tonique, vermifuge naturel, dépurative et légèrement laxative. Elle aide notamment à combattre les troubles gastriques et autres indigestions. Elle a également une action positive sur le système biliaire, tout comme des propriétés prébiotiques au niveau de l'intestin. L'un des composants de sa racine, l'inuline, considérée comme prébiotique intéresse particulièrement les chercheurs.

Il a été montré dans la littérature que l'ajout d'inuline et d'oligofructose joue un rôle positif important sur l'activité microbienne caecale et la santé digestive chez le lapin (Morisse *et al.*, 1993; Maertens *et al.*, 2004; Volek *et al.*, 2005a ; Volek *et al.*, 2016). L'inuline est contenue également dans plusieurs plantes : oignon, ail, asperge, artichauts et poireaux. Cependant, les racines de chicorée sont considérées comme la source la plus riche en inuline dans la nature avec 15 à 20% du poids frais (Van Loo *et al.*, 1995). Sa richesse en fibres solubles (34%) lui donne un intérêt particulier en alimentation du lapin. La pulpe est le coproduit de l'extraction du sucre (fructose et inuline) à partir de la racine de chicorée par diffusion.

Après un processus de séchage à basse température figure 1, une installation de broyage de la racine et le mélange à des produits liquides ou ingrédients spécifiques font de cette pulpe de chicorée un produit noble à usages multiples en alimentation animale (Socode, 2013).



Figure1 : Production de la pulpe de chicorée.

RESUME

Les fibres solubles FS constituent un nutriment important pour rehausser l'activité fermentaire et la santé digestive chez le lapin. La source principale de fibres solubles en alimentation du lapin est la pulpe de betterave (PB). Cependant, vu sa teneur élevée en FS, la pulpe de chicorée déshydratée (PCh) pourrait être une alternative à la pulpe de betterave. Dans un essai d'engraissement mené avec 192 lapins hybrides sevrés à 30 jours d'âge au poids vif moyen de 837 ± 45 g, la pulpe de chicorée déshydratée en substitution à la pulpe de betterave (SBP) a été utilisée pour étudier son effet sur les performances zootechniques et les paramètres d'abattage. Les lapins ont reçu un des quatre aliments iso-énergétiques (9.65MJ d'énergie digestible/kg) et iso-azotés (15,6% de protéines brutes). Un témoin négatif TN à faible teneur en (FS) de (7,3%), un témoin positif (TP) à teneur élevée en pulpe de betterave (13.5%) et de (10.6%) de FS et deux aliments avec respectivement 10 et 20% de (PCh) : (PCh10: 9.9% FS et PCh20 :13.7% FS). La teneur en fibres solubles est calculée par la différence entre la teneur en fibres totales (TDF) et des fibres au détergent neutre (NDF). Chaque traitement consistait en 12 répétitions de 4 lapins. Le gain de poids était important (GMQ 54 g/j) et similaire entre les aliments TN, PB et les aliments à base de pulpe de chicorée PCh 10 et PCh20. Cependant, l'efficacité alimentaire est améliorée avec l'aliment à 20% de pulpe de chicorée par rapport à l'aliment témoin négatif (2,88 vs 2,97). Le taux de mortalité est faible et n'a pas été influencé par les aliments. Les paramètres d'abattage sont similaires, aucun effet des fibres solubles sur le poids du caecum et le rendement à l'abattage n'a été observé. Nous concluons que la pulpe de chicorée est une bonne source alternative de fibres solubles dans un aliment équilibré pour lapins et peut être incorporée à un taux de 20%.

Mots clés: lapin, fibres solubles, pulpe de chicorée, pulpe de betterave.

DEHYDRATED CHICORY PULP AS AN ALTERNATIVE SOLUBLE FIBRE SOURCE IN DIETS FOR GROWING RABBITS

MAERTENS L. *, GUERMAH H. †, TROCINO A. ‡

*Institute for Agricultural and Fisheries Research, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, B-9090 MELLE, Belgium.

†Department of Agronomic Science, University M. Mammeri, BP 17, RP 15000, TIZI-OUZOU, Algeria.

‡Department of Comparative Biomedicine and Food Science (BCA), University of Padova,
Viale dell'Università 16, I-35020, LEGNARO, Italy.

ABSTRACT

Soluble fibre (SF) is an important nutrient to enhance fermentative activity and gut health in rabbits. The main source of SF in rabbit diets is sugar beet pulp (SBP), whereas, due to its high content of SF (34%), dried chicory pulp (ChP) could be an alternative to SBP. In a fattening trial with 192 hybrid weanlings 32 d old weighing 837 ± 45 g, chicory pulp was used in replacement of SBP to study effects on production performances and slaughter characteristics. Rabbits were fed one of 4 iso-energetic (9.65 MJ digestible energy/kg) and iso-nitrogenous (15.6% crude protein) diets: a negative control (NC) diet with a low dietary SF content (7.3%), a positive control diet with quite a high SBP level (13.5%) and SF content (10.6%) and 2 diets with respectively 10% and 20% of chicory pulp (ChP10: 9.9% SF and ChP20: 13.7% SF). The SF content was measured as the difference between total dietary fibre and neutral detergent fibre, the latter corrected for ash and protein content. Each dietary treatment consisted of 12 replicates of 4 rabbits. Weight gain was high (on av. 54 g/d) and comparable for the NC, SBP and ChP diets. However, feed conversion ratio was improved ($P < 0.05$) with the ChP20 diet compared to the NC diet (2.88 vs. 2.97). Mortality was low and not influenced by the dietary treatment. Slaughter data were very similar and no effect of the SF level on caecal weight or slaughter yield was observed. It was concluded that chicory pulp is a good alternative soluble fibre source in balanced diets for rabbits and can be used at least up to 20% inclusion rate.

Key Words: rabbit, soluble fibre, chicory pulp, sugar beet pulp.

INTRODUCTION

It has long been known that dietary fibre supply plays a major role in the prevention of digestive troubles in growing rabbits (Lebas, 1980). Moreover, due to improved analytical methods to measure fibre fractions and intensive research, the different fractions (insoluble fibre, soluble fibre) and their roles are now much better defined (Gidenne *et al.* 2003; Trocino *et al.*,2013).

Recently, Trocino *et al.* (2013) defined and discussed total dietary fibre (TDF), insoluble dietary fibre and soluble fibre (SF) and its relevance in terms of rabbit nutrition and digestive health. SF is the part of TDF that comprises the non- starch and non neutral detergent fibre (NDF) polysaccharides, including pectic substances, β -glucans, fructans and gums (Hall, 2003). SF is quantified by different methods or calculations, although the most extensively used in rabbit nutrition research is the difference between TDF and NDF, the latter corrected for ash and protein content (Xiccato *et al.*,2012).

The insoluble and low-digested fibre fractions (hemicelluloses, cellulose and lignin) affect the digesta retention time (Gidenne and Perez, 1994), whereas the more soluble and highly-digested fibres (hemicelluloses and pectins) promote caecal microbial activity (Peeters *et al.*,1995; García *et al.*,2002; Gidenne *et al.*,2004; Rodríguez-Romero *et al.*,2011; Martínez-Vallespin *et al.*,2013) and a good balance between insoluble fibre and SF may favour intestinal health (Nicodemus *et al.*,2006; Gómez-Conde *et al.*,2007; Gómez-Conde *et al.*,2009; Trocino *et al.*,2011). In fact, a supply of 12% as-fed SF has been recommended in diets for growing rabbits, containing about 30% NDF and 18% acid detergent fibre (ADF), to maintain mortality due to digestive disorders below 5% (Trocino *et al.*,2013). However, the effects of high dietary levels of SF (>12%) have not yet been widely investigated; among other results, it may correspond to an increase of caecal content (Peeters *et al.*,1995; Gómez-Conde *et al.*,2009; Martínez-Vallespin *et al.*,2013) which could impair slaughter yield (Falcão-e-Cunha *et al.*,2004).

On the other hand, the conclusions above on the recommended levels of dietary SF are linked to the use of sugar beet pulp (SBP) in diets as primary source of SF. In fact, in rabbit diets, the main sources of SF are SBP, apple or citrus pulp (Xiccato *et al.*,2012). An alternative source could be chicory pulp (ChP), known for its high content of inulin and pectin (minimum 7 and 27%, respectively) (Socode, 2013). ChP is the dried and ground product obtained from the chicory root shreds after partial extraction of inulin by diffusion; it contains on average 87% dry matter (DM), 8.8% crude protein (CP), 32.0% NDF, 24.0% ADF and 2.0% lignin (Socode,

2013), and has been shown to have a beneficial effect on caecal fermentative activity in rabbits (Volek and Marounek, 2011).

The aim of our work was to evaluate the effect of the use of ChP at 2 levels of inclusion (10 and 20%), in replacement of SBP and in comparison to a diet with a moderate level of SF, on growth performance and slaughter traits of growing rabbits.

MATERIALS AND METHODS

Animals and housing

Two hundred Hycole crossbred weanling rabbits at 28-29d of age of both genders were purchased from a commercial French rabbitry and housed at the experimental facilities of ILVO Animal Science Unit. Rabbits were obtained from cross breeding between the female parent line and the XXL male line of Hycole. After an adaptation period of 4 d during which they were fed a standard weaning diet *ad libitum*, 192 rabbits were selected for the trial. A randomised block design was used with four dietary treatments and 12 blocks of 4 cages.

Rabbits at 32 d of age weighing 837 ± 45 g were housed in groups of 4 animals in wire flat-deck cages measuring 45×70 cm and a height of 50 cm. Each cage was equipped with a feeder (2 feeding places) and a nipple drinker. Rabbits were uniquely identified with ear tags and randomised, taking into account their weight in order to have approximately the same average initial weight per cage.

The experimental farm was equipped with dynamic (over-under pressure) ventilation with 2 air inlets at the door side of each compartment and air extraction at the other side of the room. The ventilation rate varied between 1 and 2 m³/kg live weight/h, depending on the outside temperature. No heating of the incoming air or experimental room was applied during the trial. Temperature varied between 14 and 20°C throughout the experiment. The rabbit house was windowless and a lighting schedule of 10 h light and 14 h dark was used during the whole trial period.

Diets and experimental procedures

Four iso-energetic and iso-nitrogenous diets were formulated using the EGRAN tables (Maertens *et al.*, 2002) (Table 1). A value of 11.3 MJ/kg digestible energy (DE) was assumed for

SBP pulp according to Gidenne *et al.* (2007). Lacking any valuable estimation of the DE content, the same energy value was assumed for ChP.

Diets were formulated to have an energy content of 9.65 MJ DE/kg and a CP content of 15.7% (as-fed basis). A diet with low SF content was used without SBP or ChP as negative control diet (NC); the SBP diet contained 13.5% SBP in order to obtain about a 30% higher SF content compared to NC diet; the ChP10 and ChP20 diets contained ChP at 10 and 20%, inclusion rate, respectively, and no SBP. This way, ChP10 diet had quite the same soluble fibre as the SBP diet; ChP20 diet contained a higher level of SF compared to the other diets.

Table 3: Ingredient composition of experimental diets.

	NC	SBP	ChP10	ChP20
Wheat shorts	27.10	25.10	25.10	25.10
Alfalfa meal 17% CP	32.30	29.00	28.00	24.00
Wheat	15.40	6.00	10.00	3.00
Palm cake	4.00	4.00	4.00	3.50
Sunflower meal 27% CP	8.00	10.00	10.00	12.00
Sugar beet pulp	0.00	13.50	0.00	0.00
Chicory pulp	0.00	0.00	10.00	20.00
Flax chaff	7.19	6.44	6.88	6.39
Cane molasses	3.00	3.00	3.00	3.00
CaCO ₃	0.10	0.10	0.10	0.10
Vitamin-mineral premix ¹	2.50	2.50	2.50	2.50
NaCl	0.10	0.10	0.10	0.10
Methionine	0.10	0.09	0.12	0.12
Lysine	0.19	0.15	0.18	0.17
Clinacox	0.02	0.02	0.02	0.02

¹The premix contains: 11.9% Ca, 4.4% P and 6.2% Na and vitamin A, 320 IU/g; vitamin D₃, 70 IU/g; vitamin E, 0.80 mg/g; vitamin K₃, 0.020 mg/g; vitamin B₁, 0.020 mg/g; vitamin B₂, 0.11 mg/g; Ca-pantothenate, 0.27 mg/g; vitamin B₆, 0.020 mg/g; vitamin B₁₂, 0.00060 mg/g; nicotinamide, 0.71 mg/g; choline chloride, 4.46 mg/g; I, 0.0040%; Co, 0.0030%; Se, 0.0012%; Cu, 0.040%; Mn, 0.13%; Zn, 0.24%; Fe, 0.40%; BTH, 0.06%.

All diets were prepared and pelleted (3 mm diameter and 0.8 cm length) at the ILVO Animal Science feed mill. No growth promoter or antibiotics were added to the experimental diets and

no treatments were executed during the trial. However, diets were supplemented with 1 mg/kg diclazuril (Clinacox® 0.5%) as anticoccidial.

Diets were always administered *ad libitum* throughout the 5 weeks experimental period and rabbit weight gain and feed consumption were controlled per cage on a weekly basis from 32 to 67 d of age. Due to practical reasons, slaughtering were performed 3 d later, at 70 d of age. Ten rabbits per diet were randomly selected and slaughtered, after a feed withdrawal period (starting at 8:00 a.m.) of 5 h, at the Institute's facilities. Carcasses were chilled at 2°C for 20 h and then dissected following standardised procedures (Blasco and Ouhayoun, 1996).

Chemical Analyses

Diets and chicory pulp were analysed for their content in DM (SCD 71/393/EEC), CP (ISO 5983-2), ether extract (ISO 6492), crude fibre (AOCS, 2005). Fibre fractions, that is NDF (without sodium sulphite), ADF, and lignin, were analysed according to Mertens (2002), AOAC (2000, procedure 973.187), and Van Soest *et al.* (1991), respectively, using the sequential procedure and the filter bag system (Ankom Technology, New York) (Uden *et al.*, 2005).

TDF was determined using a gravimetric-enzymatic procedure (AOAC 2000, 991.43) with - amylase, protease, and amyloglucosidase treatments (Megazyme Int. Ireland Ltd., Wicklow, Ireland). The amount of soluble fibre was calculated by subtracting the NDF from the TDF after correcting for crude protein and ash (Van Soest *et al.*, 1991; Xiccato *et al.*, 2012).

Statistical analyses

Cage data on daily weight gain, feed intake and feed conversion ratio were analysed as a completely randomised block design using a mixed model (StatSoft, 2012) with diet as main factor and block (4 cages) as random factor. Slaughter data were subjected to a one way analysis of variance. Fisher LSD multiple range test was used to separate means that were statistically different. The significance level was fixed at 5%. Mortality rate was compared using Pearson's chi-square test (StatSoft, 2012).

RESULTS

The analysed dietary composition (Table 2) fitted well with the expected nutrient composition. Diets had the same CP (15.5%) and NDF (33.7-34.9%) content. The batch of chicory pulp used had a DM content of 10.41% and contained 8.54% CP, 29.64% NDF, 27.13% ADF, 3.71% lignin and 34.0% SF (as fed basis). The content of SF in the experimental diets ranged from 7.3% for the negative control diet to 10% for the SBP and ChP10 diets and to 13.7% for the ChP20 diet (Table 2).

Feed intake and weight gain of rabbits did not differ according to the dietary treatments when the whole period is considered (5 wk of trial) and were rather high: final live weight averaged 2727 g at 67 d of age, corresponding to a daily weight gain of 54.0 g/d and a daily feed intake of 157 g/d (Table 3). Due to this high performance, the trial ceased 1 wk earlier than initially intended. Only during the first 2 wk of trial, weanlings fed the diet with 20% ChP had a significantly ($P < 0.05$) higher daily weight gain and a better feed conversion ratio compared to rabbits fed the NC diet. This difference in feed conversion rate also remained significant when the whole experimental period (5 wk) was taken into account.

At slaughter, no significant differences were recorded for slaughter yield or caecum weight, but a lower liver weight of rabbits fed the SBP diet was determined compared to those fed the control or ChP10 diet (Table 4).

Mortality was low in our trial (2/48 rabbits fed ChP10 diet and 3/48 rabbits fed the other diets) and did not differ ($P > 0.10$) according to the experimental treatment. Necropsy of the dead rabbits revealed pasteurellosis as the main cause.

DISCUSSION

Soluble fibre is known to promote caecal fermentation in fattening rabbits (Falcão-e-Cunha *et al.*, 2004; Gómez-Conde *et al.*, 2009; Xiccato *et al.*, 2011). A sufficient level has been linked with improved digestive health (Gómez-Conde *et al.*, 2007; Gidenne *et al.*, 2010) and especially under epizootic rabbit enteropathy circumstances an increased dietary SF level has been proven to reduce mortality in growing rabbits (Martinez-Vallespin *et al.*, 2013; Trocino *et al.*, 2013). However, although our experimental diets had large differences in SF (from 7.3 till 13.7%), due to the low mortality rate the effect of the SF level on health status could not be confirmed.

Table 4: Chemical composition (% as fed) and nutritive value of experimental diets.

	Diets			
	NC	SBP	ChP10	ChP20
Dry matter	91.0	92.0	91.1	91.4
Crude protein	15.5	15.6	15.3	15.4
Ether extract	3.3	3.0	3.2	3.3
Crude fibre	16.7	17.7	17.1	17.5
Soluble fibre ¹	7.3	10.6	9.9	13.7
Digestible fibre ^{2,3}	16.4	21.2	18.7	21.0
Neutral detergent fibre (NDF)	34.9	34.2	33.7	33.9
Acid detergent fibre	18.8	20.2	19.8	21.3
Acid detergent lignin	4.4	4.2	4.2	3.8
Lysine ³	0.75	0.74	0.75	0.75
Methionine+Cystine ³	0.59	0.59	0.60	0.59
Digestible Energy ³ (MJ/kg)	9.60	9.65	9.65	9.65

1 Total dietary fibre–NDF after correction for protein and ash content.

2 Digestible fibre=hemicellulose+water insoluble pectins (Gidenne, 2003).

3 Calculated values: Maertens *et al.*,(2002).

In contrast, growth performance and feed intake in the whole trial were not affected by the SF level or source (SBP or ChP), thus confirming the results obtained by Volek and Marounek (2011) who used levels of 5 and 10% chicory root in replacement of oats in their diets. However, an improved feed conversion ratio with the highest level of SF was obtained in our study due to the increased growth rate of young rabbits fed ChP20 diet compared to the control diet, despite the similar feed intake (table 5). Accordingly, we could hypothesise that the nutritive value of the ChP20 diet (with the highest level of ChP-SF in replacement of wheat-starch and alfalfa meal-insoluble fibre) was higher than that calculated according to Maertens *et al.* (2002) and that rabbits fed this diet ingested a higher amount of DE during the first 2 wk of trial. In fact, an

imperfect regulation of appetite in young rabbits was also reported by other authors (Debray *et al.*,2002; Trocino *et al.*,2011).

Table 5: Effect of soluble fibre source on growth performance of rabbits from weaning (32 d) until slaughter (67 d).

	Diets				SEM	P-value
	NC	SBP	CP10	CP20		
Collective cages1 (No.)	12	12	12	12	-	-
Initial live weight (g)	835	828	844	834	6.5	0.70
Final live weight (g)	2698	2717	2752	2742	15	0.32
Mortality rate (%)	6.3	6.3	4.3	6.3	-	0.82
Daily weight gain (g/d)						
Weeks 1-2	58.7a	60.6ab	60.3ab	63.0b	0.5	0.03
Weeks 3-4	52.0	50.7	53.5	49.9	0.6	0.12
Week 5	43.5	45.9	43.2	49.7	0.8	0.17
Weeks 1-5	53.2	53.9	54.4	54.8	0.3	0.11
Daily feed intake (g/d)						
Weeks 1-2	124	125	127	126	1.1	0.70
Weeks 3-4	177	172	175	173	1.4	0.53
Week 5	188	184	182	189	1.9	0.57
Weeks 1-5	158	155	158	158	1.0	0.74
Feed conversion ratio						
Weeks 1-2	2.11 b	2.06 ab	2.12 b	2.01 a	0.02	0.03
Weeks 3-4	3.40	3.39	3.29	3.48	0.01	0.21
Week 5	4.28	3.94	4.20	3.92	0.07	0.13
Weeks 1-5	2.97 b	2.88 a	2.90 ab	2.88 a	0.01	0.05

SEM: Standard error of the mean.

1 Collective cages with 4 rabbits per cage.

a,b Means not sharing superscript in the same row are significantly different at $P < 0.05$.

The high DE value of SF-rich diets may depend both on the high digestibility (>0.75) of soluble fibre itself (Grueso *et al.*,2013) and the characteristics and high digestive utilisation of insoluble fibre contained in these raw materials (Abad *et al.*,2012).

Table 6: Slaughter results of rabbits at 70 d of age

	Diets				SEM	P-value
	NC	SBP	CP10	CP20		
Rabbits(No.)	10	10	10	10	-	-
Liveweight(LW)atslaughter(g)	2893	2881	2978	2858	20.3	0.17
Dressingoutpercentage(%LW)	55.6	56.5	56.5	56.1	0.24	0.53
Skin(%LW)	15.7	15.8	16.0	15.5	0.20	0.78
Hocks weight (%LW)	2.64	2.65	2.59	2.68	0.04	0.98
Caecum weight (%LW)	7.02	6.65	6.81	7.38	0.19	0.55
Reference carcass (RC)weight(g)	1208	1235	1268	1212	11	0.22
Liverweight (%RC)	7.98 ^a	6.71 ^b	8.16 ^a	7.29 ^{ab}	0.27	0.024
Dissectible fat (%RC)	2.09	2.02	2.29	2.19	0.08	0.61

SEM:Standard error of the mean.

^{a,b}Means not sharing superscript in the same row are significantly different at $P<0.05$.

Dried ChP with a level of 27% of pectins and 34% of SF can therefore be considered an energy-rich feedstuff, similarly to SBP (De Blas and Carabaño, 1996), but the energy value that we attributed to ChP (DE: 11.3 MJ/kg) for the calculation of iso-energetic diets seems to be underestimated.

The slaughter data did not reveal any negative consequences on slaughter yield, caecal weight or carcass cuts. This result demonstrates that the increase of dietary SF or the use of a raw material with a high water and liquid absorption capacity (like chicory pulp) does not necessarily modify the gut filling at slaughter age if its use is limited to 20%. Likewise, Trocino *et al.* (2010) found no effect of SBP inclusion rate on slaughter data, using diets with SF levels between 5.5 and 8.5%. However, in other studies (Peeters *et al.*,1995; Gómez-Conde *et al.*,2009; Volek and Marounek, 2011) a significant increase was determined in caecal weight when diets with a high SF content were fed. Explanations for this difference could probably be ascribed to the difference in the age of the animals or the fasting period preceding the determination. In the aforementioned studies, rabbits were euthanised for caecal determinations at ages far below normal slaughter age and without a feed deprivation period. Nevertheless, when very high levels (46%) of SBP were used, a greater weight of gut contents was determined and, in consequence, a lower dressing out yield measured (Falcão-e-Cunha *et al.*,2004).

Falcão-e-Cunha *et al.* (2004) also found a lower liver weight when animals were fed SBP diets, similarly to what we observed in rabbits fed the SBP diet. Accordingly, this effect cannot immediately be ascribed to the increased SF, as it was not observed in rabbits fed ChP10 or ChP20 diets compared to the control diet. Nevertheless, in piglets fed diets containing 5% SBP, a lower liver weight was also observed and related to the higher dietary fibre fractions (Yongxi Ma *et al.*, 2002).

CONCLUSION

Chicory pulp can be considered a rich (34%) SF source which could be used as an alternative to SBP and at inclusion rates up to 20%, with no adverse effects on growth rate, feed intake or slaughter yield and a favourable reduction in feed conversion ratio. Further data on the *in vivo* nutritive value of ChP are necessary to optimise its use in rabbit feeding.

Acknowledgements: The authors are very grateful to A. Vermeulen and to the animal care holders at the ILVO for their technical assistance.

REFERENCES

- Abad R., Gómez-Conde M.S., Carabaño R., García J. 2012. Efecto del tipo de fibra sobre la digestibilidad ileal y fecal de la fibra. *In Proc.: XXXVII Symposium de Cunicultura de ASESCU, 24-25 May, 2012. Barbastro, Spain. 51-54.*
- AOAC 2000. Official Methods of Analysis. *17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.*
- AOCS 2005. Crude Fibre Analysis in Feeds By Filter Bag Technique.
- AOCS Approved Procedure Ba 6a-05. *ANKOM Technology Method 7.*
- Blasco A., Ouhayoun J. 1996. Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Sci., 4: 93-99. doi:10.4995/wrs.1996.278*
- De Blas J.C., Chamorro S., García-Alonso J., García-Rebollar P., García-Ruiz A.I., Gómez-Conde M. S., Menoyo D., Nicodemus N., Romero C., Carabaño R. 2012. Nutritional digestive disturbances in weaner rabbits. *Anim. Feed Sci. Techn., 173: 102-110. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.016*

- De Blas J.C., Carabaño R. 1996. A review on the energy value of sugar beet pulp for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 4: 33-36. doi:10.4995/wrs.1996.268
- Debray L., Fortun-Lamothe L., Gidenne T. 2002. Influence of low dietary starch/fibre ratio around weaning on intake behaviour, performance and health status of young and rabbit does. *Anim. Res.*, 51: 63-75. doi:10.1051/animres:2002001
- Falcão-e-Cunha L., Peres H., Freire J.P.B., Castro-Solla L. 2004. Effects of alfalfa, wheat bran or beet pulp, with or without sunflower oil, on caecal fermentation and on digestibility in the rabbit. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 117: 131-149. doi:10.1016/j.anifeedsci.2004.07.014
- García J., Gidenne T., Falcão-e-Cunha L., De Blas C. 2002. Identification of the main factors that influence caecal fermentation traits in growing rabbits. *Anim. Res.*, 51:165-173. <http://dx.doi.org/10.1051/animres:2002011>
- Gidenne T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livest. Prod. Sci.*, 81: 105-117. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00301-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00301-9)
- Gidenne T., Perez J.M., Lapanouse A., Ségura M. 1994. Apports de lignines et alimentation du lapin en croissance. I. Conséquences sur la digestion et le transit. *Ann. Zootech.*, 43: 313-322. <http://dx.doi.org/10.1051/animres:19940401>
- Gidenne T., Mirabito L., Jehl N., Perez J.M., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Duperray J., Corrent E. 2004. Impact of replacing starch by digestible fibre, at two levels of lignocellulose on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Anim. Sci.*, 78: 389-398.
- Gidenne T., Aymard P., Bannelier C., Coulmier D., Lapanouse A. 2007. Valeur nutritive de la pulpe de betterave déshydratée chez le lapin en croissance. In *Proc.:12^{èmes} Journ. Recherche Cunicole*, 27-28 November, 2007, Le Mans, France.105-108.
- Gidenne T., García J., Lebas F., Licois D. 2010. Nutrition and Feeding Strategy: Interactions with Pathology. In: *Nutrition of the Rabbit. De Blas J.C., Wiseman J. (ed). 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK. 179-199.* <http://dx.doi.org/10.1079/9781845936693.0179>
- Gómez-Conde M.S., García J., Chamorro S., Eiras P., Rebollar P.G., Pérez de Rozas A., De Blas C., Carabaño R. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 85: 3313-3321. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2006-777>
- Gómez-Conde M.S., Pérez de Rozas A., Badiola I., Pérez-Alba L., De Blas C., Carabaño R., García J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota

- and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest. Sci.*, 125: 192-198.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2009.04.010>
- Grueso I., De Blas J.C., Cachaldora P., Mendez J., Losada B., García-Rebollar P. 2013. Combined effects of supplementation of diets with hops and of a substitution of starch with soluble fiber on feed efficiency and prevention of digestive disorders in rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 180: 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.009>
- Hall M.B., 2003. Challenges with non fiber carbohydrate methods. *J. Anim. Sci.*, 8: 3226-3232.
- Hoffman, L.A., Baker, A., 2011. Estimating the substitution of distillers' grains for corn and soybean meal in the U.S. feed complex. A report from the Economic Research Service, *United States Department of Agriculture*.
<http://www.ers.usda.gov/Publications/FDS/2011/09Sep/FDS11101/FDS11101>
- ISO 6492-1999. International standard, 1st edition 1999-08- 01. Animal feeding stuffs. Determination of fat content, *International Standard Organization, Geneva, Switzerland*. 7.
- ISO 5983-2. 2005. International standard. Animal feeding stuffs-Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content, Part 2: Block digestion/steam distillation method. *International Standard Organization, Geneva, Switzerland*. 14.
- Lebas F. 1980. Les recherches sur l'alimentation du lapin: Evolution au cours des 20 dernières années et perspectives d'avenir. *In Proc.: 2nd World Rabbit Congress, Barcelona, Spain, Vol. II: 1-17*.
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Sci.*, 10: 157-166. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2002.488>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.014>
- Martínez-Vallespín B., Martínez-Paredes E., Ródenas L., Moya V.J., Cervera C., Pascual J.J., Blas E. 2013. Partial replacement of starch with acid detergent fibre and/or neutral detergent soluble fibre at two protein levels: Effects on ileal apparent digestibility and caecal environment of growing rabbits. *Livest. Sci.*, 154:123-130.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.012>

- Mertens, D.R., 2002. Gravimetric determination of amylase- treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *J. AOAC Int.* 85: 1217-1240.
- Nicodemus N., García J., Carabaño R., De Blas J.C. 2006. Effect of a reduction of dietary particle size by substituting a mixture of fibrous by-products for lucerne hay on performance and digestion of growing rabbits and lactating does. *Livest. Sci.*, 100: 242-250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.09.004>
- SCD 71/393/EEC 1971. Second Commission Directive of 18 November 1971 establishing Community methods of analysis for the control of feedingstuffs. *Official Journal L*, 279, 20/12/1971. 7-18.
- Peeters J.E., Maertens L., Orsenigo R., Colin M. 1995. Influence of dietary beet pulp on caecal VFA, experimental colibacillosis and iota-enterotoxaemia in rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 51:123-139. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00676-Z](http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401(94)00676-Z)
- Rodríguez-Romero N., Abecia L., Fondevila M., Balcells J. 2011. Effects of levels of insoluble and soluble fibre in diets for growing rabbits on faecal digestibility, nitrogen recycling and in vitro fermentation. *World Rabbit Sci.*, 19: 85-94. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2011.828>
- Socode. 2013. Ground and dehydrated chicory pulp. Available at:http://www.socode-warcoing.be/en/fibres_pulpe.htm Accessed: April 2013.
- StatSoft. 2012. Statistica 11 release. StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA.
- Trocino A., Fragkiadakis M., Radaelli G., Xiccato G. 2010. Effect of dietary soluble fibre level and protein source on growth, digestion, caecal activity and health of fattening rabbits. *World Rabbit Sci.*, 18: 199-210. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2010.779>
- Trocino A., Fragkiadakis M., Majolini D., Carabaño R., Xiccato G. 2011. Effect of the increase of dietary starch and soluble fibre on digestive efficiency and growth performance of meat rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 165: 265-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.008>
- Trocino A., García J., Carabaño R., Xiccato G. 2013. A meta- analysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 21: 1-15. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2013.1285>
- Udén P., Robinson P.H., Wiseman J. 2005. Use of detergent system terminology and criteria for submission of manuscripts on new, or revised, analytical methods as well as descriptive information on feed analysis and/or variability. *Animal Feed Sci. Tech.*, 118: 181-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.11.011>

- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Volek, Z., Marounek, M., Skivanová, V. 2005a. Replacing starch by pectin and inulin in diet of early-weaned rabbits: effect on performance, health and nutrient digestibility. *J. Anim. Feed Sci.* 14 : 327-337.
- Volek Z., Marounek M. 2011. Dried chicory root (*Cichorium intybus L.*) as a natural fructan source in rabbit diet: effects on growth performance, digestion and caecal and carcass traits. *World Rabbit Sci.*, 19: 143-150. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2011.850>
- Volek Z., Uhlířová L., Marounek M., Třemlová E., Zita L. 2016. The effect of dried chicory root added to the restrictive feed ration of rabbits on health status, performance and caecal and carcass traits. In proceeding of the 11th World Rabbit Congress-June 15-18, 2016-Qingdao-China.
- Xiccato G., Trocino A., Carraro L., Fragkiadakis M. 2007. Digestible fibre to ADF ratio and protein concentration in diets for early-weaned rabbits. *World Rabbit Sci.* 15, 55.
- Xiccato G., Trocino A., Majolini D., Fragkiadakis M., Tazzoli M. 2011. Effect of decreasing dietary protein level and replacing starch with soluble fibre on digestive physiology and performance of growing rabbits. *Animal*, 5:1179-1187. <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731111000243>
- Yongxi Ma., Defa Li., Qiao S.Y., Huang C.H., Han In K. 2002. The effects of fiber source on organ weight, digesta pH, specific activities of digestive enzymes and bacterial activity in the gastrointestinal tract of piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 15: 1482-1488.

**II.2. VALEUR NUTRITIVE DE LA PULPE DE CHICOREE
(*Cichorium intybus* L.) CHEZ LE LAPIN EN CROISSANCE**

(Publication en cours)

La pulpe de chicorée est le coproduit de la production d'inuline ou de fructose qui contient des cossettes lessivées et séchées. La pulpe sur pressée est obtenue après extraction de l'inuline des racines de chicorée par diffusion. Elle peut être utilisée en alimentation directe chez les ruminants ou comme ensilage. Cette dernière sera appelée pulpe séchée ou déshydratée après séchage. Ce coproduit est surtout utilisé chez les ruminants et le porc.

La valeur nutritionnelle de la pulpe de chicorée pour les ruminants ainsi que sa composition chimique ont été étudiées par Verheggen *et al.* (1994); Barry, (1998) notamment. Cette plante médicinale aux multiples usages possède des vertus anti helminthiques Kidane *et al.* (2010) ont conclu que la pâture de la chicorée améliore les performances des agneaux et réduit leur niveau de parasitisme.

Liu *et al.* (2011) ont étudié les performances du poulet de chair nourris de chicorée; par ailleurs, Izadi *et al.* (2013) ont également utilisé la chicorée comme probiotique chez les poulets de chair. Les travaux sur l'utilisation de la chicorée (*Cichorium intybus* L.) en alimentation du lapin ne sont pas très nombreux. A l'état frais Cossu *et al.* (2006); Castellini *et al.* (2007); Jin *et al.* (2007); Huang *et al.* (2008) ont étudié son effet sur les performances des lapins.

Par ailleurs, Cardinali *et al.* (2013) ont étudié l'effet de la chicorée fraîche chez des lapins avant sevrage et concluent que cette matière première pourrait être considérée comme un additif plutôt qu'un aliment. Volek et Marounek (2011) ; Volek *et al.* (2016) ont également étudié l'effet des racines de chicorée séchées chez le lapin.

Guermah et Maertens, (2012) et Maertens *et al.* (2014) ont étudié les effets de la pulpe de chicorée déshydratée comme sources de fibres solubles, sur les performances du lapin en croissance. La valeur nutritive de la pulpe de chicorée chez le lapin n'a cependant pas été étudiée.

NUTRITIVE VALUE OF DEHYDRATED CHICORY PULP (*Cichorium intybus* L.) FOR FATTENING RABBITS

(Publication in preparation)

ABSTRACT:

The aim of the study was to determine the nutritive value of chicory pulp for fattening rabbits. Sixteen individually caged 8-week-old rabbits were used to determine the digestibility and preliminary effects on feed intake and weight gain. Dehydrated chicory pulp was incorporated with 30% inclusion level in a basal diet at the expense of all basal ingredients. Basal and experimental diets were fed *ad libitum* to 8 rabbits during the four days balance trial. The substitution method was used for the calculation of the nutritive value according to the recommendations of Villamide *et al.* (2001).

A moderate protein digestibility 59.2% was obtained corresponding to a digestible protein concentration of 5.3 % DM. A quite high energy digestibility 73 % and DE content of 12.14 MJ/kg DM was determined while all fibre fractions had a high digestibility: CF, NDF and ADF: 65.5; 56.0 and 83.1%. It may be concluded that chicory pulp can be effectively considered as an energy-rich feedstuff and a source of fermentable fiber.

Key words: fattening rabbit, Chicory pulp, digestibility, nutritive value.

INTRODUCTION

The use of by-products and non conventional feedstuffs take a great importance in rabbit nutrition. However, the knowledge of their nutritive value is fundamental for their inclusion in balanced rabbit diets.

The role of the different fiber fractions is well studied (Gómez-Conde *et al.*, 2007 and 2009; Gidenne *et al.*, 2010 and 2015; Trocino *et al.*, 2013).

In rabbit diets, main used sources of digestible or soluble fibres are beet pulp, apple or citrus pulp. An alternative source could be chicory (*Cichorium intybus* L.) pulp known for its high content of inulin and pectin (minimum 7% and 27%, respectively according to Socode, 2013).

In a review on perspectives and utilization technologies of chicory Wang and Cui, (2011) mentioned the characteristics of *Cichorium intibus* L. This perennial herb of the *Asteraceae* family is a medicinal plant with blue, lavender, or occasionally white flowers. Also known as blue sailors, endive, succory, and coffee weed, is native to the mediterranean region, mid Asia and northern Africa.

Chicory plant is highly palatable for cow, cattle, swine, sheep, deer, horse, rabbit, chook, goose, duck, fish, ostrich ..etc (Foster *et al.*,2002; Moloney and Milne, 1993). Chicory effects were studied in Broiler chickens (Liu *et al.*,2011); swine (Rideout and Fan, 2004; Hansen *et al.*, 2006 and Byrne *et al.*, 2008); deer (Hoskin, 1999b); Sheep, (Hume *et al.*,1995); Sitzia *et al.*(2006) and goat (Lema *et al.*,2008).

The use of fresh chicory in rabbit feeding has been studied by Cossu *et al.* (2006); Castellini *et al.* (2007); Jin *et al.* (2007); Huang *et al.* (2008). Effects of red fresh chicory on young rabbits before weaning was studied by Cardinali *et al.* (2013). Those authors concluded that this raw material could be considered as additive rather than a feed.

Chicory pulp is the dried and ground product obtained after partial extraction of inulin by diffusion of the chicory root shreds. Inulin might have also positive effects on health of rabbits (Flickinger *et al.*,2003; Maertens *et al.*,2004). Chicory plant is one of the most concentrated sources of fructo-oligosaccharides and inulin (70% DM) Kikuchi *et al.*, (2009). Chicory pulp contains on average 87% DM, 8.8% CP, 32.0% NDF, and 24.0% ADF and 2.0% ADL (Socode, 2013).

Maertens *et al.* (2004) ; Volek *et al.* (2005a) and Volek *et al.* (2016) evaluated the effects of chicory roots and inulin on rabbits.

Volek and Marounek, (2011) concluded that chicory root can serve as a natural source of inulin type-fructans in rabbit feed. Diet supplementation with 10% dried chicory root beneficially affected the caecal fermentative activity in the rabbits, without significant reductions in the nutritive value of the diet, growth performance or carcass quality.

Otherwise, Verheggen *et al.* (1992) studied the nutritive value of dehydrated chicory pulp for ruminants. However, data about digestibility of chicory pulp for rabbits are very scarcely reported.

In a previous study, Maertens *et al.* (2014) with 10 and 20% inclusion rate of chicory pulp in rabbit diets, concluded that there is no adverse effects on growth rate, feed intake or slaughter yield with a favorable reduction in feed conversion ratio. Thus, the objective of this study was to determine the nutritive value of dried chicory pulp for fattening rabbits.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design and feeds

16 rabbits (8/diet) of 8-9 weeks were used to determine the feeding value of dried chicory pulp. They were placed in digestibility cages measuring 30 x 45 x 35 cm (width x depth x height). They were housed individually and the cages allowed an accurate collection of the faeces separately from the urine. After one week of adaptation to the experimental diets and to the cages, the digestibility trial was executed (duration: 4 days) following the European reference method described by Perez *et al.* (1995). The trial was conducted at the ILVO institute (Melle, Belgium). The rabbit house was windowless and a lighting program of 10 hours light and 14hours dark was used during the whole trial period. No dynamic ventilation or heating have been used in the experimental farm building. The test was made during the period of April-May, the temperature adjoined $\pm 22^{\circ}\text{C}$ during the day and $\pm 14^{\circ}\text{C}$ at the night. Rabbits were fed *ad libitum* and fresh water was always available.

A basal diet (Table 1) was formulated to fit with nutritional requirement of growing rabbits (De Blas and Mateos, 2010). The experimental diet was obtained by replacing 30% of the basal diet by the dehydrated chicory pulp (ChP). The basal and control diets were mixed in a small mixer and then transported in a plastic tub to the pelletizer. The pellets measured 1cm length and 3 mm diameter.

Table 1. Basal diet used for the digestibility trial.

Ingredient	%
Alfalfa meal 16	30.10
Wheat	9.50
Wheat middlings	17.50
Beet pulp	11.00
Sunflower meal 28	15.00
Full fat soybeans	2.00
Flax chaff	7.00
Soybean oil	1.00
Vitamin and mineral premix	2.50
Molasses	4.00
NaCl	0.13
L-Lysine HCl	0.125
DL-methionine	0.120
Clinacox	0.02

Animals and measurements

The rabbits used for the trial were Hycole hybrids and the progeny of the cross between the female Hycole hybrid line and the heavy male line. The young were weaned at 35 days of age. At about 8 weeks of age 16 healthy rabbits were ad random selected for the digestibility trial. They were allotted (8 per diet), according to their weight 1959 ± 98 g to one of the 2 diets (basal diet or experimental diet with 30% chicory pulp). They were housed individually and fed *ad libitum* one of the 2 diets, with a weekly control of live weight, feed intake and a daily control of mortality and morbidity (Fernandez-Carmona *et al.*,2005). No medicinal treatment has been used during the test.

Chemical analyses and digestibility

The following chemical analyses were executed: dry matter (SCD 71/393/EEC), Ash (5 h at 550°C), Nitrogen (ISO 5983-2), gross energy (Adiabatic calorimeter), crude fiber (AOCS, 2005), NDF, ADF and ADL (AOAC 2000, procedure 973.187) and Van Soest *et al.* (1991) and lipids (ISO 6492).

The chemical analyses were performed at ILVO laboratory on feeds, faeces and dehydrated chicory pulp according to EGRAN harmonized procedures (EGRAN, 2001).

The calculation of the digestibility was done according to the recommendations of Villamide *et al.* (2001). It is supposed that there exist additivity between the basal diet and the test ingredient. A correction for the difference in dry matter between the basal mash and the test ingredient was executed to determine the exact inclusion level.

Statistical analysis

Digestibility data of diets and performance data were submitted to a one way ANOVA (StatSoft 2012). Differences between means were tested by the least significant difference test. Data are presented as means and standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

The weight of the rabbits on the chicory pulp treatment was on average 1959 ± 98 g at the beginning of the trial adaptation period and 2519 ± 105 g at the end of the balance trial. This means that the average daily weight, during the adaptation and balance trial period, amounted to 50.1 g or in the normal range of hybrid rabbits at that age. No cases of mortality or morbidity have been reported during the test.

In table 2 the chemical composition of test ingredient and the experimental diet is presented. Chicory pulp batch tested contained on average 88% dry matter (DM), 7.9% CP and 2.1% fat. CP content is in line with the values mentioned by Socode (2013) and Maertens *et al.* (2014) 8.8 % and 8.54 % respectively.

On anotherhand, Volek and Marounek (2011) mentioned 6% CP and 3% fat for chicory root.

The CP content is similar to the finding of Gidenne *et al.* (2007) for beet pulp 7.7% and Maertens *et al.* (2002) for citrus pulp 5.9%.

However, chicory pulp has high crude fibre content 19.4% but with a low lignification's 1.4% ADL. NDF, ADF and ADL values are also in line with those reported by Socode, (2013) 27.5; 25; 1.4 vs 32; 24 and 2 %.

These values are also in line with those reported by Ibrahim *et al.* (2011) for lemon pulp and orange pulp (NDF: 34.23; 26.21 and ADF 25.47; 20.35%).

Table 2. Analysed composition of the test ingredient and diets (% as fed).

	Chicory pulp	Basal diet	Diet 30% Chicory pulp
Dry matter	88.39	91.71	91.78
Ash,%	5.26	8.16	7.22
Crude fat,%	2.14	4.35	3.84
Crude protein,%	7.89	16.97	14.61
Crude fibre	19.43	15.58	17.06
Neutral detergent fibre,%	27.50	29.98	29.72
Acid detergent fibre, %	24.96	17.42	20.68
Acid detergent lignin, %	1.38	4.05	3.61
Gross energy, (MJ/kg)	15.40	17.05	16.80

The digestibility of the diets is presented in table 3. With the exception of the protein fraction, all fractions of the chicory pulp diet were higher than the basal data.

Relationship between the digestibility of the dry matter and energy is usually observed (Maertens and Van Herck, 2001). A good energy and fat digestibility is obtained for the chicory pulp diet. DC of energy is similar to these mentioned by Gidenne *et al.* (2007) for diet with 30% beet pulp and to the values obtained for maize silage and brewer's grain incorporated at 30% in diets, in previous trials conducted in the same conditions, Guermah *et al.* (2016).

The CP digestibility (70.0%) was somewhat slightly lower than these obtained for brewer's grain and maize silage diets, by Guermah *et al.* (2016), (75.0 and 75.3%).

The DC of fiber fractions in chicory pulp diet are higher than those of maize silage and brewer's grain diets incorporated at 30%, Guermah *et al.* (2016), NDF, ADF were 41.0; 40.3 % vs 23.7, 28.5 and 18.6; 19.5% respectively. This may be related to the fact that soluble fibre level is generally increased in a complete feed by supplying raw materials rich in pectins as beet pulp, citrus or apple pulp or fructans as chicory pulp Gidenne *et al.* (2014).

Table 3. Digestibility (%) of the diets.

	Basal	30% Chicory pulp	P
Dry matter	59.0 ± 1.3	61.8 ± 1.1	< 0.01
Crude protein	74.5 ± 1.8	70.0 ± 2.3	< 0.01
Crude Fat	77.7 ± 1.6	79.1 ± 1.8	< 0.12
Crude fibre	24.4 ± 2.9	36.4 ± 2.3	< 0.01
Neutral detergent fibre	34.8 ± 2.2	41.0 ± 3.3	< 0.01
Acid detergent fibre	22.6 ± 4.9	40.3 ± 2.8	< 0.01
Gross energy	64.4 ± 1.3	66.8 ± 1.3	< 0.15

The digestibility of chicory pulp is presented in table 4.

Chicory pulp showed a moderate protein digestibility (59.2%) while all fibre fractions had a high digestibility (CF: 65.5%). This resulted in a quite high energy digestibility (72.9%) or a DE content of 2902 kcal/kg DM or 2565 kcal/kg product. Also Volek and Marounek, (2011) mentioned a significantly lower digestibility of CP in rabbits fed chicory root diets, a finding that is consistent with similar findings in rats (Levrat *et al.*,1993; Vanhoof and De Schrijver, 1996) and pigs (Lynch *et al.*,2007; Hedemann and Knudsen, 2010) when inulin-rich diets were fed.

A moderate CP digestibility (50%) is also mentioned for beet pulp by EGRAN tables (Maertens *et al.*,2002). This value is lower than those found for this co product by Lebas and Cheriet (1981) and Gidenne *et al.* (2007), (72.6; 74.4 %). Otherwise, Kadi *et al.* (2011) obtained 42.8% DCP for Sulla hay (*Hedysarum flexuosum*).

Table 4. Digestibility (%) of chicory pulp

	Chicory pulp
Dry matter	68.4
Crude protein	59.2
Crude fat	82.6
Crude fibre	65.5
Neutral detergent fibre	56.0
Acid detergent fibre	83.1
Gross energy	72.9
Dig. energy (MJ/kg DM)	12.14
Dig. protein (%/DM)	5.29

The energy value determined for chicory pulp (12.14 MJ/kg DM / 2902 kcal/kg) or 2565 kcal/kg product is higher than the beet pulp value, mentioned by the EGRAN tables (Maertens *et al.*, 2002) 10.4 MJ/kg DM, or quite in line with the INRA tables (Sauvant *et al.*, 2004) and Gidenne *et al.* (2007), 2700 kcal/kg.

This value is in line with those mentioned by De Blas and Crabano, (1996) (10.2 to 14.2 MJ/kg). The energy value is also in line with another similar coproduct citrus pulp, 11.3MJ/kg Maertens *et al.* (2002).

This trial confirm that the energy value attributed to ChP in Maertens *et al.* (2014) study, (DE: 11.3 MJ/kg) for the calculation of iso-energetic diets was effectively underestimated in the aforementioned studies.

This new coproduct tested is also in line with both previously tested products, studied in this thesis (brewer's grain and maize silage, 11.66 and 11.10 MJ/kg DM respectively), Guermah *et al.* (2016). Gaafar *et al.* (2010) determined a similar value for maize silage of 12.40 MJ/kg with the direct method.

The high digestibility of all fibre fractions of chicory pulp may be reliable to its soluble fibres (SF) content. This high digestible level of fibres was reported in the bibliography for raw materials containing important levels of soluble fibre fractions, like beet pulp, Candreau *et al.* (1978) and their good valorization by rabbits, Franck and Seroux (1980), Perez *et al.* (2000) Gidenne *et al.* (2004). The high digestibility of fibre fractions of chicory pulp suggest that it contains fibre fractions that are highly digestible for the rabbit, such pectins (Gidenne *et al.*, 2010).

Trocino *et al.* (2013) mentioned in their review that the SF dietary level is positively related to the faecal digestibility of insoluble fibre fractions (NDF and ADF) and favours the microbial activity with higher fermentation levels and lower pH. That fit in with the hypothesis ventured in the previous study by Maertens *et al.* (2014) that high DE value of SF-rich diets may depend both on the high digestibility (>75%) of soluble fibre itself (Grueso *et al.*, 2013) and the characteristics and high digestive utilization of insoluble fibre contained in these raw materials (Abad *et al.*, 2012).

Gidenne *et al.* (2014) recommended that the balance between the low-digested 'ADF' and highly digested fibre fractions should be respected: the ratio DgF/ADF should be under 1.3 to avoid an unbalanced intake of highly fermentable polysaccharides (pectins, -glucans, etc.).

Indicative data about feed intake and fattening performance are presented in Table 5. Lower feed intake was observed. This may be reliable with high digestible energy content of this by-product.

This value equals exactly those obtained by Maertens *et al.* (2014) with diets containing 10 and 20% dried chicory pulp (158g/d).

However, this result is quite comparable with these obtained by Volek and Marounek, (2011) using (10%) chicory root diet (150.9g/d), but slightly higher than the result obtained with maize silage in previous study, (144.5 g/d), Guermah *et al.* (2016).

Growth performance and feed intake were not significantly affected by chicory pulp at 30% incorporation level, thus confirming the results obtained by Volek and Marounek (2011) who used levels of 5 and 10% chicory root in replacement of oats in their diets.

Daily weight gain obtained for this period corroborate these obtained by Maertens *et al.* (2014) with diets containing 10 and 20% dried chicory pulp and Guermah *et al.* (2016) with brewer's grain diet (51.3g/d) and by Volek and Marounek, (2011) using (10%) chicory root diet (53.4g/d). Otherwise, Castellini *et al.* (2007) concluded that addition of fresh chicory in the post-weaning phase slightly affected rearing performance; the rabbits fed chicory showed a higher feed intake (134.0 vs 124.5 g/d ; and daily gain 35.3 vs 33.7 g/d).

The feed conversion ratio was significantly ($P<0.01$) lower, confirming the result of Maertens *et al.* (2014) with the highest level of SF and chicory pulp (20%). The result obtained is in line with the quite high digestible energy content of this by-product. This tendency was also observed in Volek and Marounek, (2011) results.

Table 5. Overall feed intake and weight gain on the 2 diets*.

	Basal diet	Diet 30% chicory pulp	P
Feed intake (g/d):	176.1 ± 16.6	158.1 ^a ± 7.9	0.124
Daily weight gain (g/d)	47.9 ^a ± 5.4	52.4 ^a ± 4.5	0.308
Feed conversion ratio	3.70 ± 0.31	3.03 ± 0.24	0.005

*n=8 and a fattening period of 18 days (50 – 68 days of age)

Volek and Marounek, (2011) concluded that diet supplementation with 10% dried chicory root beneficially affected the caecal fermentative activity in the rabbits without significant reductions in the nutritive value of the diet, growth performance or carcass quality.

Throughout the experiment, an inclusion rate of 30% of chicory pulp did not produce adverse effects on the health status of animals or their growth performance. No cases of mortality or morbidity have been reported during the trial (no antibiotic treatment was used). Our results

confirm those of Volek and Marounek, (2011) who concluded that diet supplementation with 10% dried chicory root beneficially affected the caecal fermentative activity in the rabbits without significant reductions in the nutritive value of the diet, growth performance or carcass quality. The same authors confirmed those positive effects in a recent trial, Volek and Marounek, (2016).

CONCLUSION

It may be concluded that dried chicory pulp can therefore be considered as an energy-rich feedstuff (12.14 MJ/kg DM) which can be used as an alternative raw material in rabbit diets even till 30% inclusion rate. It could be also considered as a good source of well digestible fibre for the growing rabbit.

This study confirms and completes the results obtained in a previous fattening trial on replacing sugar beet pulp by dried chicory pulp Maertens *et al.* (2014). However, further studies should be conducted to confirm the better conversion ratio and digestive health of rabbits fed chicory.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Andre Vermeulen for his skilful technical assistance and to the laboratory personnel for the analyses of diets and faeces.

REFERENCES

- Abad R., Gómez-Conde M.S., Carabaño R., García J. 2012. Efecto del tipo de fibra sobre la digestibilidad ileal y fecal de la fibra. *In Proc.: XXXVII Symposium de Cunicultura de ASESCU*, 24-25 May, 2012. Barbastro, Spain. 51-54.
- AOCS 2005. Crude Fibre Analysis in Feeds By Filter Bag Technique. AOCS Approved Procedure Ba 6a-05. *ANKOM Technology Method 7*.
- AOAC 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. *Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA*.
- Barry T. N. 1998. Feeding value of chicory (*Cichorium intybus*) for ruminant livestock. *J. Agric. Sci.* 131:251–257.
- Candau M., Bertrand B., Fioramonti J., 1978. Variation de la digestibilité des constituants de la ration chez le lapin. *CR Séances Soc. Biol.*, 172, 554-559.

- Cardinali R., Dal Bosco A., Castellini C. 2013. Effect of dietary supplementation of fresh red chicory (*Chicorium intybus foliosum*) on gastro-intestinal tract and caecal fermentation of rabbit before weaning. *Giornate di Coniglicoltura ASIC 2013*.
- Castellini C., Cardinali R., Rebollar P.G., Dal Bosco A., Jimeno V., Cossu M.E. 2007. Feeding fresh chicory (*Chicoria intybus*) to young rabbits: Performance, development of gastro-intestinal tract and immune functions of appendix and Peyer's patch. *Animal Feed Science and Technology*, V.134, Issues 1-2, 56-65. [doi:10.1016/j.anifeedsci](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci).
- Cossu M.E., Gauna C., Martino P., Cumini M.L., Tacchini F., Lazzari G. 2006. Use of fresh chicory (*Cichorium intybum* L) on rabbit feeding. In: *Proc. 3rd Rabbit Congress of the Americas, 2006 August, Maringá, Brazil (in CD)*.
- De Blas J.C., Carabaño R. 1996. A review on the energy value of sugar beet pulp for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 4: 33-36. [doi:10.4995/wrs.1996.268](https://doi.org/10.4995/wrs.1996.268)
- De Blas J.C., Villamide M.J., Carabano R. 1989. Nutritive value of cereal by-products for rabbits.1. Wheat straw. *J. Appl. Rabbit Res.* 12:148-151.
- De Blas C., Mateos, G.G. 2010. Feed formulation. In: *De Blas C., Wiseman J. (Eds.), Nutrition of the rabbit, CABI, 222-232*.
- EGRAN 2001. Technical note: Attempts to harmonise chemical analyses of feeds and faeces, for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci.*, 9: 57-64.
- Fernandez-Carmona J., Cervera C., Blas E. 1996. Prediction of the energy value of rabbit feeds varying widely in fibre content. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 64, 61-75.
- Fernandez-Carmona J., Blas E., Pascual J.J., Maertens L., Gidenne T., Xiccato G., Garcia J. 2005. Recommendations and guidelines for applied nutrition experiments in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 13: 209-228
- Flickinger E.A., Van Loo J., Fahey G.C. 2003. Nutritional responses to the presence of inulin and oligofructose in the diets of domesticated animals. A review. *Crit. Rev. Food. Sci. Nutr.* 43 (1): 19-60.
- Foster JG., Fedders JM., Clapham WM., Robertson JW., Bligh DP., Turner KE. 2002. Nutritive value and animal selection of forage chicory cultivars grown in central Appalachia. *Agron. J.* 94: 1034-1042.
- Franck Y., Seroux M., 1980. Utilisation de la pulpe de betterave déshydratée par le lapin à l'engraissement. In: *WRSA (Ed), Proc.2d of World Rabbit Congress, 16-18 avril, Barcelone, Vol. 2, p.167-175*.

- Gaafar H.M.A., Abd El-Lateif A.I.A., Salwa Abd El-Hady B. 2010. Effect of partial replacement of berseem hay by corn silage on performance of growing rabbits. *Report and Opinion* 2010; 2 (9).
- Gidenne T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livest. Prod. Sci.*, 8: 105-117.
- Gidenne T., Aymard P., Bannelier C., Coulmier D., Lapanouse A. 2007. Valeur nutritive de la pulpe de betterave déshydratée chez le lapin en croissance. In Proc.: 12^{èmes} Journ. Recherche Cunicole, 27-28 November, 2007, Le Mans, France. 105-108.
- Gidenne T., García J., Lebas F., Licois D. 2010. Nutrition and Feeding Strategy: Interactions with Pathology. In: Nutrition of the Rabbit. De Blas J.C., Wiseman J. (ed). 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK. 179-199. <http://dx.doi.org/10.1079/9781845936693.0179>
- Gidenne T. 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review, *Animal*, 9:2, pp 227-242. [doi:10.1017/S1751731114002729](https://doi.org/10.1017/S1751731114002729)
- Gómez-Conde M.S., García J., Chamorro S., Eiras P., Rebollar P.G., Pérez de Rozas A., De Blas C., Carabaño R. 2007. Neutral detergent-soluble fiber improves gut barrier function in twenty-five-day-old weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 85: 3313- 3321. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2006-777>.
- Gómez-Conde M.S., Pérez de Rozas A., Badiola I., Pérez-Alba L., De Blas C., Carabaño R., García J. 2009. Effect of neutral detergent soluble fibre on digestion, intestinal microbiota and performance in twenty five day old weaned rabbits. *Livest. Sci.*, 125: 192-198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2009.04.010>
- Grueso I., De Blas J.C., Cachaldora P., Mendez J., Losada B., García-Rebollar P. 2013. Combined effects of supplementation of diets with hops and of a substitution of starch with soluble fiber on feed efficiency and prevention of digestive disorders in rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 180: 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.009>
- Guermah H., Maertens L. 2012. Chicory in rabbit diets. 10thWorld Rabbit Congress. Egypt, 6-9 sept.2012. <http://world-rabbit-science.com/wrsa-proceedings/congress-egypt/papers/02-nutrition/n-02.pdf>.
- Guermah H., Maertens L., Berchiche M. 2016. Nutritive value of brewers' grain and maize silage for fattening rabbits. *World Rabbit Sci.*, 24:183-189doi:10.4995/wrs.2016.43-53
- Hansen LL., Mejer H., Thamsborg SM., Byrne DV., Roepstorff A., Karlsson AH., Hansen-Moller J., Jensen MT., Tuomola M. 2006. Influence of

- chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *Anim. Sci.* 82: 359-368.
- Hoskin SO., Barry TN., Wilson PR., Charleston WAG., Kemp PD. 1999b. Growth and carcass production of young farmed deer grazing sulla (*Hedysarum coronarium*), chicory (*Cichorium intybus*), or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) white clover (*Trifolium repens*) pasture in New Zealand. *J. Agric. Res.* 42: 83-92.
- Huang C., Wu H., Huang R. 2008. Effect of Alfalfa and Barckoria on Growth Performance of New Zealand White Rabbit. *Livestock Poult. Ind.* 22: 21-25.
- Hume DE., Lyons TB., Hay RJM. 1995. Evaluation of Grasslands-Puna Chicory (*Cichorium Intybus* L) in Various Grass Mixtures under Sheep Grazing. *New Zealand J. Agric. Res.* 38: 317-328.
- Ibrahim M.R., El-Banna H.M., Omara I.I., Marwa A. Suliman. 2011. Evaluation of Nutritive Value of Some Citrus Pulp as Feedstuffs in Rabbit Diets. *Pakistan Journal of Nutrition* 10 (7): 667-674, 2011.
- INRA 1989. L'alimentation des animaux monogastriques porc, lapin, volailles (2^e édition). *INRA ed.*
- ISO 6492 1999. International standard, first edition 1999-08- 01. Animal feeding stuffs Determination of fat content, *International Standard Organization*, Geneva, Switzerland.7.
- Izadi H., Arshami J., Golian A., Raji M. R. 2013. Effects of chicory root powder on growth performance and histomorphometry of jejunum in broiler chicks. *Veterinary Research Forum.* 2013; 4 (3) 169-174
- Jin J., Zhang Y., Shi L., Zhang M., Zhu H., Long H., Jiang G. 2007. Study on effectiveness and economic benefits of feeding rabbit with fresh forage mixture. *Pratacult. Sci.* 24:72-75. [URL:http://acad.cnki.net/kns55/detail/detail.aspx?QueryID=922&CurRec=2&DbCode-CJFQ&dbname-CJFD0608&filename-CYKX200710013](http://acad.cnki.net/kns55/detail/detail.aspx?QueryID=922&CurRec=2&DbCode-CJFQ&dbname-CJFD0608&filename-CYKX200710013)
- Kadi S.A., Guermah H., Bannelier C., Berchiche M., Gidenne T. 2011. Nutritive value of sundried Sulla (*Hedysarum flexuosum*), and its effect on performance and carcass characteristics of the growing rabbit. *World Rabbit Sci.*, 19:151-159.
- Kikuchi H., Inoue M., Saito H., Sakurai H., Aritsuka T., Tomita F., Yokota A. 2009. Industrial production of difructose anhydride III (DFA III) from crude inulin extracted from chicory roots using *Arthrobacter* sp H65-7 fructosyltransferase. *J. Biosci. Bioeng.* 107: 262-265.
- Kidane A., Houdjik G.M., Athanasiadou S., Tolkamp B.J., Kyriasakis I. 2010. Effect of protein maternal nutrition and subsequent grazing on chicory (*Cichorium intybus*) on parasitisme and performance of lambs. *J. of anim. Sci.* 010.88:1513-1521. [doi 10.2527 Jas. 2009/2530](https://doi.org/10.2527/Jas.2009/2530).

- Lema M., Kebe S., Opio R. 2008. Growth rate, carcass trait and blood chemistry of cross-bred meat goats grazing Puna chicory, Rackmaster refuge mix and Sahara bermudagrass. *J. Appl. Anim. Res.* 33:1-6.
- Liu H. Y., Ivarsson E., Jönsson L., Holm L., Lundh T., Lindberg J. E. 2011. Growth performance, digestibility, and gut development of broiler chickens on diets with inclusion of chicory (*Cichorium intybus* L.). *Poultry Science* 90:815-823. doi: 10.3382/ps.2010-01181
- Lui J.F., Andrade B.R.P., Oliveira M.C., Arantes U.M., Cancherini L.C., Caires D.R. 2004. Nutritive value of diets containing alfalfa hay and whole corn plant to growing rabbits. In Proc: 8th World Rabbit Congress. Puebla, Mexico, 897-901.
- Maertens L., Van Herck A. 2001. Digestibilité de quelques matières premières couramment utilisées dans l'alimentation du lapin. 9^{èmes} Journ. Rech. Cunicole Paris, 2001, 81-84.
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Sci.*, 10:157-166. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2002.488>
- Maertens L., Aerts J.M., De Boever J. 2004. Degradation of dietary oligofructose and inulin in the gastro-intestinal tract of the rabbit and the effects on caecal pH and volatile fatty acids. *World Rabbit Sci.* 12: 235-246.
- Maertens L., Guermah H., Trocino A. 2014. Dehydrated chicory pulp as an alternative soluble fibre source in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 22: 97-104 [doi:10.4995/wrs.2014.1540](http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2014.1540)
- Martínez-Vallespín B., Martínez-Paredes E., Ródenas L., Moya V.J., Cervera C., Pascual J.J., Blas E. 2013. Partial replacement of starch with acid detergent fibre and/or neutral detergent soluble fibre at two protein levels: Effects on ileal apparent digestibility and caecal environment of growing rabbits. *Livest. Sci.*, 154:123-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.012>
- Moloney SC., Milne GD. 1993. Establishment and management of Grasslands Puna chicory used as a specialist, high quality forage herb. *Proc. New Zealand Grassland Assoc.* 55: 113-118
- Perez J.M., Gidenne T., Bouvarel I., Arveux P., Bourdillon A., Briens C., Le Naour J., Messenger B., Mirabito L., 2000. Replacement of digestible fibre by starch in the diet of the growing rabbit. II. Effects on performances and mortality by diarrhoea. *Ann. Zootech.*, 49, 369-377.
- Plmuier W. 1972. Chicory improvement. *Revue de l'Agric.* 4: 567-585.

- Rideout T.C., Fan MZ. 2004. Nutrient utilization in response to dietary supplementation of chicory inulin in growing pigs. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1005-1012.
- Sitzia M., Ligios S., Fois N. 2006. Sulla and chicory production and quality under sheep grazing management. Sustainable grassland productivity: *Proceedings of the 21st General Meeting of the European Grassland Federation*, Badajoz, Spain, 3-6 April, 2006; pp. 448-450.
- Socode 2013. Ground and dehydrated chicory pulp. Available at: http://www.socode-warcoing.be/en/fibres_pulpe.htm Accessed: April 2013.
- StatSoft . 2012. Statistica 11 release. *StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA*
- Trocino A., García J., Carabaño R., Xiccato G. 2013. A metaanalysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 21: 1-15. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2013.1285>
- Van Loo J., Coussement P., De Leenheer L., Hoebregs H., Smits G. 1995. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35: 525-552.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Verheggen J., Théwis A., Moureaux JM., Chabi S. 1994. Composition chimique et valeur nutritionnelle pour les ruminants des pulpes de chicorées. *Ann. zootech.*43,243. *Elsevier/INRA*
- Villamide M.J., Maertens L., Cervera C., Perez J.M., Xiccato G. 2001. A critical approach of the calculation procedures to be used in digestibility determination of feed ingredients for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 9: *World Rabbit Sci.*, 9: 19-2
- Volek Z., Marounek M., Skivanová V. 2005. Replacing starch by pectin and inulin in diet of early-weaned rabbits: effect on performance, health and nutrient digestibility. *J. Anim. Feed Sci.*, 14: 327-337.
- Volek Z., Marounek M. 2011. Dried chicory root (*Cichorium intybus* L.) as a natural fructan source in rabbit diet: effects on growth performance, digestion and caecal and carcass traits. *World Rabbit Sci.* 2011, 19: 143 – 150 [doi:10.4995/wrs.2011.850](http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2011.850)
- Volek Z., Uhlířová L., Marounek M., Třívěřová E., Zita L. 2016. The effect of dried chicory root added to the restrictive feed ration of rabbits on health status, performance and caecal and carcass traits. *11th World Rabbit Congress-June 15-18,2016-Qingdao-China.*

Wang Q., Cui J. 2011. *Perspectives and utilization technologies of chicory (Cichorium intybus L.): A review*. African Journal of Biotechnology Vol. 10(11), pp. 1966-1977, 14 March, 2011. Available online at :
<http://www.academicjournals.org/AJB.DOI:10.5897/AJB10.587.ISSN.1684-5315>.

II.3. VALEUR NUTRITIVE DE LA DRÊCHE DE BRASSERIE ET DE L'ENSILAGE DE MAÏS (*Zea mays* L) CHEZ LE LAPIN EN CROISSANCE

Dans cette troisième partie, nous avons rassemblé deux matières premières dans une même publication. La drêche de brasserie et l'ensilage de maïs plante entière. Nous avons déterminé la valeur nutritive de ces deux matières peu étudiées chez le lapin en croissance en utilisant la méthode de substitution.

Présentation de la drêche de brasserie

La drêche de brasserie est le principal coproduit de l'industrie brassicole. Chaque hectolitre de bière produite génère 20kg de drêche Reinold, (1997). Cette source de fibres est également riche en protéines brutes 21 à 29% de MS Wastendorf et Wohlt, (2002).

Ce coproduit largement disponible à bas prix est jusqu'ici valorisé surtout par les ruminants. Après fermentation de l'orge brassicole en présence de levures, le résidu solide constitue la drêche de brasserie

La valeur nutritive de la drêche de brasserie chez le lapin a été peu étudiée, Nous citons Fenandez-carmona *et al.* (1996) et Meartens et Salifou (1997). Cette présente étude est réalisée sur une drêche provenant d'une brasserie de Gand (Belgique) et a pour objectif de déterminer la valeur nutritive de ce coproduit agro-industriel chez le lapin.



Figure 2 : Drêche de brasserie séchée au soleil.

Ensilage de la plante entière du maïs (*Zea mays* L.)

Le maïs en grain est largement utilisé en alimentation humaine et animale. La plante entière est surtout utilisée chez les ruminants notamment sous forme d'ensilage (figure 3) Cependant, peu de données sont recensées concernant la valeur nutritive chez le lapin. Martinez *et al.* (2006) ont étudié la valeur nutritive du maïs plante entière chez le lapin. Dans cet essai, la valeur nutritive de l'ensilage de maïs plante entière telle qu'elle est distribuée aux ruminants à la ferme expérimentale de l'institut ILVO (Belgique) a été déterminée chez le lapin en croissance.

Des sous-produits ou des matières premières locales disponibles sont recherchés comme sources alternatives en alimentation animale. Connaissant le besoin spécifique en fibres des lapins, des matières premières comme le maïs plante entière représente une source potentielle intéressante. Cependant, la détermination de leur valeur nutritive chez le lapin est indispensable afin de les incorporer dans un aliment équilibré. Le maïs ensilé a été séché au soleil, puis broyé et incorporé à 30% dans un régime de base.



Figure 3: Ensilage de maïs.

RESUME

La détermination de la valeur nutritive des matières premières est indispensable pour la formulation d'aliments équilibrés pour lapins. Elle permet une plus large utilisation de coproduits et de sources non conventionnelles. La valeur nutritive chez le lapin en croissance de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs plante entière est déterminée dans cette étude. Les matières premières étant humides ont été séchées au soleil avant d'être broyées et incorporées à 30% dans un aliment de base. Les lapins de 8 semaines d'âge ont été répartis en 3 lots dans des cages individuelles. L'aliment de base et les aliments expérimentaux ont été distribués *ad libitum* aux 8 animaux de chaque lot. L'essai a été prolongé d'une semaine pour obtenir des données d'engraissement. Aucun lapin n'a montré de signes de diarrhée, d'excès de caecotrophes ou d'inappétence au cours de l'essai. Par ailleurs, aucun traitement médicamenteux n'a été utilisé et aucun cas de morbidité ou de mortalité n'ont été enregistrés. La méthode de substitution a été utilisée pour le calcul de la valeur nutritive. Les calculs ont été exécutés selon les recommandations de Villamide *et al.*(2001) en supposant l'additivité entre la ration de base et la matière première. La digestibilité des protéines, des lipides, de la cellulose brute et ADF est de 76,2% et 77,2% ; 86,5% et 99,1% ; 8,1% et 8,3% et 28,0 et 13,5% pour la drêche de brasserie et l'ensilage de maïs respectivement.

La teneur en ED est de 11,66 MJ/kg MS pour la drêche de brasserie et de 11,10 MJ/kg MS pour l'ensilage de maïs. Les deux sources alimentaires étudiées sont des sources alternatives potentielles en alimentation du lapin. Toutefois, d'autres essais seront nécessaires pour étudier l'effet de l'ensilage sur l'ingestion dont une réduction significative ($P < 0.001$) a été observée.

NUTRITIVE VALUE OF BREWERS' GRAIN AND MAIZE SILAGE FOR FATTENING RABBITS

GUERMAH H.*†, MAERTENS L.‡, BERCHICHE M.†

*Department of Agricultural Sciences, University M. Boudiaf, M'SILA, Algeria.

†Departments of Agriculture and Biological Sciences, University M. Mammeri, Tizi-Ouzou, Algeria.

‡Institute for Agricultural and Fisheries Research, Animal Science Unit, Scheldeweg 68, B-9090, MELLE, Belgium.

ABSTRACT:

The specific knowledge of the nutritive value of raw materials is fundamental to formulate balanced diets for rabbits. It permits a larger use of by-products and non conventional feedstuffs. The feeding value of sun-dried brewer's grain and maize silage (whole plant) for the fattening rabbit is studied in this paper. Twenty-four, individually caged 8-week-old rabbits were used to determine the digestibility. Both wet products were sundried and grinded before they were incorporated in a basal diet. The inclusion level at the expense of all basal ingredients amounted to 30%. Basal diet and both experimental diets were fed *ad libitum* to 8 rabbits during the four days balance trial. The determined digestibility of protein, fat, crude fibre and NDF digestibility amounted 76.2% and 77.2%; 86.5% and 99.1%; 8.1% and 8.3% and 28.0% and 13.5%, respectively for brewer's grain and maize silage. The digestible energy content amounted to 11.66 MJ/kg DM (brewer's grain) and 11.10 MJ/kg DM (maize silage). Both by-products have potential as alternative feedstuff in rabbit diets. However, further experiments are necessary to determine the effect of ensilaging of whole maize plant because a significant lower ($P<0.001$) feed intake was observed.

Key words: fattening rabbit, brewer's grain, maize silage, digestibility, nutritive value.

INTRODUCTION

In recent years a pronounced trend towards increased prices of raw materials and in consequence animal feed has been observed. Feed therefore appears as the dominant input in animal production ranging from 60% to 70% of the total cost of production (Nworgu *et al.*, 1999).

Alternative sources or local available by-products, which have as the main objective to reduce the feeding costs, can become interesting in such a situation (Carabano et Fraga, 1992; Lui *et al.*,2004; Kadi *et al.*,2011). Especially raw materials that contain a certain amount of fiber fractions are suitable for rabbits as they need different sources of fiber in their diet (Gidenne 2003). Brewer's grain, which is a wet by-product of the beer industry, is such a product. It is largely available in many countries and primarily used in ruminant feeding. Every hectoliter of produced beer generates 20 kg of brewer's grain as by-product (Reinold,1997).

Brewer's grain is a highly variable byproduct whose composition and nutritional value depend on the grain used, on the industrial process (temperature, fermentation...) and on the method of preservation. Brewers' grains are sold wet or dried and can be ensiled (Blezinger, 2003). According to the Feedipedia database (Sauvant *et al.*,2015) the dried product contains on dry matter (DM) basis 25.8% (19.5 - 31.9%) crude protein (CP), 6.7% (1.7 - 9.9%) ether extract (EE), 15.8% (11.8-19.9%) crude fibre (CF), 21.9% (15.5 - 28.6%) acid detergent fibre (ADF) and 5.4% (3.0 - 10.6%) lignin. The combination of a quite protein and fibre rich product fits with the requirements for rabbits. However, data about the feeding value of dried brewer's yeast for rabbits are scarcely reported (Fernandez-Carmona *et al.*,1996; Maertens and Salifou, 1997).

Another feedstuff widely available is maize silage (*Zea mays* L.). The whole maize plant is harvested and chopped and the humid conservation method used is ensiling. Maize silage is a major forage and energy source around the world. Because of its high biomass yield and high concentration of soluble carbohydrates, whole maize plant has been used extensively as a silage crop in both temperate and tropical climates (Phipps 1996, Njoka *et al.*,2005). It's traditionally used for ruminants, mostly as silage. Feedipedia database classed maize silage in category of cereal and grass forage but only limited information is available on its nutritive value for the rabbit (Martinez *et al.*,2006). However, maize silage as a livestock feed has a low CP concentration, 8-9% (Carruthers *et al.*, 2000; Darby and Lauer, 2002) and 8.1 % according to Feedipedia for the silage with less than 25% DM. Protein content decreases with the maturing process (Tolera and Sunstol, 2001; Michalet-Doreau *et al.*,2004).

The DM content of maize plant increases from 23 to 37% during the maturing process of the grain (Abreu *et al.*,2000). The stage of maturity at harvest and mechanical processing are major factors in determining the nutritive value of silage.

Both products, brewer's grains and maize silage, are wet products and have to be dried if incorporated in a pelleted diet for rabbits.

In order to formulate balanced diets, the knowledge of the feeding value is essential information (Maertens *et al.*,2002). Therefore the objective was to determine the nutrient digestibility and energy content of sundried maize whole plant silage and brewer's grain in fattening rabbits.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design and diets

In total 24 rabbits (8/diet) of 8-9 weeks were used to determine the feeding value of brewer's grain and maize silage and they were housed on digestibility cages measuring 30 cm (width) x 45 cm (depth) and 35 cm (height). They were housed individually and the cages allowed an accurate collection of the faeces separately from the urine. The balance trial was executed (duration: 4 days) after one week of adaptation to the experimental diets and to the cages.

No dynamic ventilation or heating have been used in the experimental farm building. The rabbit house was windowless and a lighting program of 10 hours light and 14 hours dark was used during the whole trial period. The test was made during the period of April-May, the temperature adjoined 22°C during the day and 14°C at the night.

During the whole period, rabbits were fed *ad libitum* and the apparent digestibility was measured according to the European methodology (Perez *et al.*,1995).

A basal diet (Table 1) was formulated to fulfil the requirements of fattening rabbits (De Blas and Mateos, 2010). The experimental diets were obtained by replacing 30% of the basal diet by the test raw material (Brewer's grain or maize silage).

Fresh brewer's grain, a co product of the beer industry, was obtained from a local brewery (Huyghe, Melle, Belgium). The maize silage, with a DM content of 32% was the quality used for ruminants' feeding in the experimental farm of the institute.

Table 1. Composition of the basal diet.

Ingredient	%
Alfalfa meal 16	30.10
Wheat	9.50
Wheat middlings	17.50
Beet pulp	11.00
Sunflower meal 28	15.00
Full fat soybeans	2.00
Flax chaff	7.00
Soybean oil	1.00
Vitamin and mineral premix*	2.50
Molasses	4.00
NaCl	0.13
L-Lysine HCl	0.125
DL-methionine	0.120
Clinacox	0.02

* Vitamin A:320 IU/g; Vitamin D3: 70 IU/g; Vitamin E: 0.80 mg/g; Vitamin K3: 0.020 mg/g; Vitamin B1: 0.20 mg/g; Vitamin B2: 0.11mg/g; Calcium-D-pantothenat: 0.27 mg/g; Vitamin B6: 0.020 mg/g; Vitamin B12: 0.00060 mg/g; Nicotin acid: 0.71 mg/g; Choline chloride: 4.46 mg/g; Butyl hydroxyl toluene: 0.60%; Potassium chloride: 0.0040%; Cobalt hydroxyl carbonate: 0.0030%; Sodium selenite: 0.0012%; Copper sulphate: 0.040%; Manganese oxide: 0.13%; Zink oxide: 0.24%; Iron sulphate 0.40%; Aromatic substances: 6%; Calcium: 11.9%; Phosphorus: 4.4%; Sodium: 6.2%.

Because both tested products were wet products, they were sundried by spreading them in a thin layer on a plastic sail. They were turned twice a day to improve the drying process. During the night, the plastic sail was closed and after 2 days both products reached a DM content more than 85% and were collected in bags. Afterwards they were milled in a hammer mill, with a screen of 9 mm, before they were added to the basal mash.

The basal mash diet (70%) and the test ingredients (30%) were mixed in a small mixer and then transported in a plastic tub to the pelletizer. In order to avoid contamination in the tubes of the feed plant, the mash was manually introduced on the top of the pellet press. Diets were in pellets of 1cm length and 3 mm diameter.

Animals and measurements

Rabbits used were taken from a large group of fatteners which were weaned at 35 days of age. At about 8 weeks of age, 24 healthy rabbits were ad random selected for the digestibility trial. They were allotted (8 per diet), according to their weight (mean weight: 2035 ± 139 g) to one of the 3 diets. They were housed individually and fed *ad libitum* one of the 3 diets, with a weekly control of live weight, feed intake and a daily control of mortality and morbidity (Fernandez-Carmona *et al.*,2005). No medicinal treatment has been used during the test and fresh water was always available.

After a 7d adaptation period, faecal collections were achieved during 4 days following the European reference method for digestibility trials in rabbits as described by Perez *et al.*(1995). In order to have preliminary data of intake and fattening performance, the trial has been prolonged with one week after the digestibility test until 74d of age.

Chemical analyses and digestibility

The following chemical analyses were executed: dry matter (SCD 71/393/EEC), Ash (5 h at 550°C), Nitrogen (ISO 5983-2), gross energy (Adiabatic calorimeter), crude fibre (AOCS, 2005), NDF, ADF and ADL (AOAC 2000, procedure 973.187) and Van Soest *et al.* (1991) and lipids (ISO 6492).

The chemical analyses were performed at ILVO laboratory on feeds, faeces and dehydrated brewer's grain and maize silage according to EGRAN harmonised procedures (EGRAN, 2001). The calculation of the nutritive value was done according to the recommendations of Villamide *et al.* (2001). It is supposed that there exist additivity between the basal diet and the test ingredient. A correction for the difference in dry matter between the basal mash and the test ingredient was executed to determine the exact inclusion level.

Statistical analysis

Digestibility data of diets and performance data were submitted to a one way ANOVA (StatSoft 2012). Differences between means were tested by the least significant difference test. Data are presented as means and standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

The weight of the rabbits was on average 2035 ± 139 g at the beginning of balance trial and 2508 ± 181 g at the end of the balance trial. This means that the average daily weight, during the adaptation and balance trial period, amounted to 43.0 g or in the normal range of rabbits at that age. No cases of mortality or morbidity have been reported during the test.

In table 2 the chemical composition of the two test ingredients and the 3 experimental diets is presented. The tested brewer's grain contained 20.7% CP and was fat rich (10.3%). However the CP content was lower than those reported by Fernández-Carmona *et al.* (1996) or the Feedipedia database which mentioned a higher CP for this co-product, (27.7%; 25.8% respectively). The ADF content was 19.2%. It equals the value found earlier by Maertens and Salifou (1997) 19.7 vs 21.9% on *Feedipedia*. NDF (49%) was lower than that reported by Maertens and Salifou (1997) 62.4% vs 56.3% on *Feedipedia*.

Maize silage on the other hand had a low fat (2.9%) and CP (5.7%) content in line with the value mentioned by Martinez *et al.* (2006) at the intermediate maturity stage (mi-dent) and with those in *Feedipedia*. However, the batch maize silage used had a very low crude fibre (13.2%) and lignin content (1.5%) compared with the values presented in *Feedipedia* (a mean crude fibre of 20.3% and 2.7% of lignin is supposed). This indicates very clearly that the maize silage tested was harvested at young stage.

Table 2. Nutritional composition of the test ingredients and diets (% as fed).

	Brewer's grain	Maize silage	Basal diet	Diet30% Brewer's grain	Diet 30% Maize
Dry matter	92.3	88.4	91.7	92.4	91.8
Crude fat	10.3	2.9	4.3	5.9	4.5
Crude protein	20.6	5.7	17.0	17.9	14.0
Neutral detergent fibre	49.1	26.0	30.0	35.5	30.2
Acid detergent fibre	19.2	14.4	17.4	17.1	17.1
Acid detergent lignin	4.3	1.5	4.0	3.7	3.5
Gross energy, (MJ/kg)	19.9	16.3	17.0	18.0	17.1

The digestibility of the diets is presented in table 3. The results of one rabbit on the maize silage diet were excluded from the dataset because of too divergent results (difference > 2 SD of mean for DM digestibility).

The digestibility coefficients (DCF) of the diets were with the exception of the crude fat not significantly different. The quite large variability of the DCF's with the maize silage diet, are partly responsible for the lack of significance.

Table 3. Digestibility (%) of the diets.

	Diets			P
	Basal	30% Brewer's gr	30% Maize silage	
Dry matter	59.0 ± 1.3*	55.4 ± 0.8	59.5 ± 3.6	0.152
Crude protein	74.5 ± 1.8	75.0 ± 1.5	75.3 ± 2.8	0.881
Crude Fat	77.7 ^{a**} ± 1.6	80.4 ^b ± 1.4	84.0 ^c ± 0.9	0.000
Crude fibre	24.4 ± 2.9	19.5 ± 1.4	19.7 ± 9.1	0.612
Neutral detergent fibre	34.8 ± 2.2	32.7 ± 2.8	28.5 ± 7.2	0.372
Acid detergent fibre	22.6 ± 4.9	18.6 ± 2.2	19.5 ± 5.2	0.702
Gross energy	64.4 ± 1.3	61.3 ± 0.7	63.9 ± 3.6	0.356

*N=8/diet except maize silage diet (n=7)

**Means in the same row, sharing different superscripts differ significantly (P<0.05)

The DM digestibility of the maize silage diet is comparable (59%) to that reported by Martinez *et al.* (2006) who substituted 20 % or 40% of maize plant at early dough stage. The energy digestibility (63.9%) was higher than the values obtained by the same group at

early stage but in line with their values found at mid-dent stage and full maturity stage (between 60 and 64%). The CP digestibility (75.3%) on the other hand was somewhat higher than for all qualities tested by Martinez *et al.*(2006). Moreover, they mentioned an increasing of the digestibility coefficients of DM, GE and CP of the maize plant with the maturing process.

The DCF's of the brewers' grain diet were very comparable with the data obtained by Maertens and Salifou (1997) with the exception of the energy and fat digestibility which were 5 and 4 points higher in the current experiment.

The DCFof brewer's grain and maize silage are presented in table 4.

Table 4. Digestibility and nutritive value of brewer's grain and maize silage.

	Brewer's grain	Maize silage
Dry matter,%	47.3	60.6
Crude protein, %	76.2	77.2
Crude fat, %	86.5	99.1
Crude fibre, %	8.1	8.3
Neutral detergent fibre, %	28.0	13.5
Acid detergent fibre, %	9.3	12.2
Gross energy, %	54.1	62.8
Dig. energy, MJ/kg DM	11.66	11.10
Dig. protein, % DM	15.7	4.4

A good protein digestibility for rabbits (76.2%) was observed for brewers' grain. It exceeds the values determined for barley (Maertens *et al.*,1990; Fernandez-Carmona *et al.*,1996) or mentioned in the EGRAN tables (Maertens *et al.*,2002). A high crude fat digestibility of 86.5% was determined for the quantitative (10.3%) important fat fraction which explained the high digestible energy content. The actual batch tested had a lower fibre digestibility (e.g. NDF: 28.0% *vs* 39.6%) but a higher energy content (11.66 MJ instead of 10.06 MJ/kg DM) than reported by Maertens and Salifou (1997). Compared with other cereal by-products, brewer's grain has an energy content between wheat bran and wheat shorts (Maertens *et al.*,2002).

These results mean that brewer's grain is a quite fibrous and energy feedstuff with also an important contribution in proteins. Its energy content, fibre and crude protein make brewer's grain a valuable byproduct in diets for rabbits.

The batch maize silage tested showed a good protein and fat digestibility (77.2% and 99.1%, respectively). However, the low fat content of maize silage hinders an accurate determination (Villamide *et al.*, 2001). The digestible protein of maize silage is low (4.4 %, DM) and in line with the values estimated by Martinez *et al.* (2006) for the maize silage mid-stage (between 4.5 and 4.7 depending of inclusion level and methodology).

An energy value of 11.1 MJ/Kg DM was obtained which is higher than the highest values obtained by Martinez *et al.* (2006) at full maturity stage; 10.4 MJ/kg DM both with the substitution as regression method. At 20% substitution, they determined a value of 12.2 MJ/kg DM but they attributed this to the high errors obtained at lower inclusion levels.

The energy value determined for maize silage (11.10 MJ/kg DM or 9.82 MJ/kg for the sundried product) is quite comparable with beet or citrus pulp but much higher than other fibrous products and alfalfa meal (Maertens *et al.*, 2002). With the direct method, Gaafar *et al.* (2010) determined a much higher value of 12.40 MJ/kg. Lui *et al.* (2004) on the other hand, mentioned a comparable energy content as alfalfa hay. They used as diets the ground forages enriched with 9% oil.

In table 5, data about feed intake and fattening performance are presented. Because of the low number of rabbits and short period, they can only be considered as indicative. Feed intake and weight gain were similar in groups fed basal diet or diet containing 30% brewers' grains. The feed conversion ratio was somewhat (not significant) lower, in line with the quite high digestible energy content of this by-product.

However, on the corn silage a significant ($P < 0.001$) lower intake and weight gain was observed. This negative effect on feed intake was not found by Martinez *et al.* (2006) and Gaafar *et al.* (2010) who obtained a comparable intake as with the control or basal diet. An explanation could be searched in the fact that our product was ensilaged while in the aforementioned studies the whole maize plant was fed immediately after harvesting.

Martinez *et al.* (2006) have concluded that dehydrated whole maize plant can be utilized in rabbit diets at least at the 20% inclusion rate without affecting feed intake, growth rate, dressing yield and carcass characteristics, although it could impair feed efficiency. However, they signaled that feed intake was affected by maturity stage.

Table 5. Feed intake and weight gain of rabbits fed the experimental diets*.

	Basal diet	Diet 30% Brewers' grain	Diet 30% Maize silage	P
Feed intake (g/d)	176 ^a ±16.6	177 ^a ±13.1	144 ^b ±10.5	0.000
Daily weight gain (g/d)	47.9 ^a ±5.4	51.3 ^a ± 3.5	40.2 ^b ± 4.1	0.001
Feed conversion ratio	3.70±0.31	3.48 ±0.33	3.60 ±0.15	0.341

*n=8; from 56 to 74 days of age

Based on the current experiment, further trials are necessary to determine the possible negative effect of ensilaging of the whole maize plant for rabbits and the maximum inclusion level in balanced diets.

CONCLUSIONS

Both tested products showed a good digestibility for rabbits and a quite high energy value. If the dried products are available, they can be considered as an alternative raw material in rabbit diets.

However, because of the lower feed intake on the maize silage diet (on average 18% lower), further experiments are necessary to judge the effect of ensilaging and maximum inclusion level in rabbit diets.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Andre Vermeulen for his skilful technical assistance and to the laboratory personnel for the analyses of diets and faeces.

REFERENCES

- Abreu J.M., Bruno-Soares A.M., Calouro F. 2000. Intake and nutritive value of Mediterranean forages and diets. *Instituto. Superior de Agronomia.-UTL, Lisboa.*
- AOAC 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. *Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.*
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des

- matières premières destinées aux animaux d'élevage: porc, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. 2^{ème} Edition revue et corrigée. INRA Editions, Paris,301p.
- AOCS 2005. Crude Fibre Analysis in Feeds By Filter Bag Technique. AOCS Approved Procedure Ba 6a-05. *ANKOM Technology Method 7*.
- Blezinger S. 2003. Feed supplements come in several different forms.<http://www.cattletoday.com/archive/2003/February/CT251.shtml>.
- Carabano R., Fraga M.J. 1992. The use of local feeds for rabbits. *Options Méditerranéennes, Série Séminaires, 17: 141-158*.
- Carruthers K., Prithiviraj B., Cloutier D., Martin R C., Smith D L. 2000. Intercropping of corn with soybean\ lupin and forages: silage yield and quality. *J.Agron.Crop Sci., 185: 177-185*.
- Darby H. M., Lauer J. G. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality and preservation. *Agron. J., 94: 559-566*.
- De Blas C., Mateos, G.G. 2010. Feed formulation. In: *De Blas C., Wiseman J.* (Eds.), *Nutr. of the rabbit, CABI, 222-232*.
- EGRAN 2001. Technical note: Attempts to harmonise chemical analyses of feeds and faeces, for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci., 9: 57-64*
- Feedipedia: An on-line encyclopedia of animal feeds, *Animal Feed Resources Information System - INRA CIRAD AFZ and FAO, 2012-2015*.
- Fernandez-Carmona J., Cervera C., Blas E. 1996. Prediction of the energy value of rabbit feeds varying widely in fibre content. *Anim. Feed Sci. Techn., 64: 61-75*.
- Fernandez-Carmona J., Blas E., Pascual J.J., Maertens L., Gidenne T., Xiccato G., Garcia J. 2005. Recommendations and guidelines for applied nutrition experiments in rabbits. *World Rabbit Sci., 13: 209-228*.
- Gidenne T. 2003. Fibres in rabbit feeding for digestive troubles prevention: respective role of low-digested and digestible fibre. *Livest. Prod. Sci., 81: 105-117*.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00301-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00301-9).
- Gaafar H.M.A., Abd El-Lateif A.I.A., Salwa Abd El-Hady B. 2010. Effect of partial replacement of berseem hay by corn silage on performance of growing rabbits. *Archiv. Zootech., 14: 59-69*. <http://www.researchgate.net/publication/266502588>
- ISO 6492 1999. International standard, first edition 1999-08-01. Animal feeding stuffs Determination of fat content, *International Standard Organization, Geneva, Switzerland. 7*.

- ISO 5983-2 2005. International standard. Animal feeding stuffs determination of nitrogen content and calculation of crude protein content, Part 2: Block digestion/steam distillation method. *International Standard Organization, Geneva, Switzerland*. 14.
- Kadi S.A., Guermah H., Bannelier C., Berchiche M., Gidenne T. 2011. Nutritive value of sundried Sulla (*Hedysarum flexuosum*), and its effect on performance and carcass characteristics of the growing rabbit. *World Rabbit Sci.*, 19:151-159.
- Lui J.F., Andrade B.R.P., Oliveira M.C., Arantes U.M., Cancherini L.C., Caires D.R. 2004. Nutritive value of diets containing alfalfa hay and whole corn plant to growing rabbits. In Proc: 8th WorldRabbit Congress. Puebla, Mexico, 897-901.
- Maertens L., Janssen W.M.M.A., Steenland E.M., Wolters D.F., Brame H. E. B., Jager F. 1990. Tables de composition, de digestibilité et de valeur énergétique des matières premières pour lapins. In: 5^{èmes} Jour. Rech. Cunicole, Paris. Dec.12-13, 1990. Ed. ITAVI. 57:9.
- Maertens L., Salifou E. 1997. Feeding value of brewer's grains for fattening rabbits. *World Rabbit Sci.* 5:161-165.
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Sci.*, 10: 157-166. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2002.488>
- Martínez M., Biglia S., Moya V.J., Blas E., Cervera C. 2006. Nutritive value of dehydrated whole maize plant and its effect on performance and carcass characteristics of rabbits. *World Rabbit Sci.* 14: 15-21.
- Nworgu FC., Adebowale EA., Oredein OA., Oni A. 1999. Prospect and economics of broiler production using two plant protein sources. *Trop. J. Anim. Sci.* 2(1): 159-16.
- Perez J.M., Lebas F., Gidenne T., Maertens L., Xiccato G., Parigi-Bini R., Dalle Zotte A., Cossu M.E., Carazzolo A., Villamide M.J., Carabaño R., Fraga M.J., Ramos M.A., Cervera C., Blas E., Fernández-Carmona J., Falcao E Cunha L., Bengala Freire J. 1995. European reference method for in-vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 3:41-43. doi:<http://dx.doi.org/10.4995/wrs.1995.239>.
- Phipps R H. 1996. A crop from over there that's doing rather well over here: forage maize in the diet of the lactating dairy cow. *J. Roy.Agric. Soci. Engl.* 157: 103-115.
- Reinold M R. 1997. *Manual practicio de cervecería*. Aden ED. Sao Pablo Brasil, p: 123.
- Sauvant D., Heuzé V., Tran G., Lebas F., 2015. *Brewers grains. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Last updated on May 11, 2015, 14:32.*
- StatSoft. 2012. Statistica 11 release. *StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA.*

- Tolera A., Sunstol F. 2001. Prediction of feed intake, digestibility and growth rate of sheep fed basal diets of maize stover supplemented with *Desmodium intortum* hay from dry matter degradability of the diets. *Livest. Prod. Sci.* 71:13-23.
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Villamide M.J., Maertens L., Cervera C., Perez J.M., Xiccato G. 2001. A critical approach of the calculation procedures to be used in digestibility determination of feed ingredients for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 9: 19-25.
- Westendorf M L., Wohlt J E. 2002. Brewing by products; their use as animal feed. *Vet Clin. North am. Food anim. pract.*, 18: 233-252.

**II.4. VALEUR NUTRITIVE DE LA DRECHE DE BIOETHANOL (DDGS:
DRIED DISTILLERS GRAINS WITH SOLUBLES) CHEZ LE LAPIN EN
CROISSANCE**

(Publication en cours)

Face à l'augmentation importante du coût des matières premières, l'utilisation optimale de l'ensemble des sources disponibles pour l'alimentation des animaux d'élevage est impérative. La valorisation des coproduits des filières de production de bioéthanol dont la disponibilité sur le marché mondial de l'alimentation animale augmente est, à ce titre une alternative intéressante. Leur richesse en protéines les rend plus attractifs comme sources alternatives aux légumineuses, notamment le soja.

L'essor de la filière de production de bioéthanol génère des quantités importantes de coproduits utilisables en alimentation animale. Cette industrie transforme des grains de céréales : blés, maïs, triticales, orges et sorgho purs ou en mélange pour la fabrication d'alcool. Distillers dried grain with solubles ou DDGS est le coproduit principal de cette production. Actuellement, le maïs est la céréale la plus utilisée dans le monde, pour produire du bioéthanol, particulièrement aux USA Swiatkiewicz et Koreleski, (2008). Toutefois, dans plusieurs régions d'Europe et d'Amérique du Nord, c'est le blé qui est la céréale la plus utilisée, mais l'orge, le seigle, le sorgho et des mélanges peuvent également être employés. L'amidon des céréales est transformé par hydrolyse enzymatique en glucose dont la distillation produira de l'alcool (Bioéthanol de 1^{ère} génération) et du dioxyde de carbone. La teneur en amidon du DDGS de maïs est d'environ 7% Stein et Shurson, (2009) alors que celle du grain de maïs est de l'ordre de 65%. Les teneurs des fractions de nutriments restant après cette hydrolyse (protéines, fibres et lipides) sont triplées par rapport à la céréale d'origine Creswell, (2006).

En 2010, l'industrie américaine de l'éthanol a produit 33,4 millions de tonnes métriques de DDGS (Hoffmann et Baker, 2011). Selon Cozannet *et al.* (2010) les drêches de blé obtenues contribuent pour une part importante à la rentabilité de la filière.

Valorisées surtout par les ruminants jusqu'ici, les drêches de blé issues de cette industrie devraient, étant donné l'accroissement de volume attendu, devenir de plus en plus disponibles pour les monogastriques. Mais très peu de données sont disponibles sur la valeur nutritionnelle de ces produits. Ces coproduits du bioéthanol riches en fibres mais surtout en protéines conviennent à l'alimentation du lapin (Carabano et Fraga, 1992). Cependant, comme la plupart des coproduits, ils présentent des variations de leur composition chimique en fonction des procédés mis en œuvre (Spiehs *et al.*, 2002 ; Belyea *et al.*, 2006) et de la nature du grain (Nuez-Ortín et Yu, 2009).

NUTRITIVE VALUE OF DRIED DISTILLERS GRAINS WITH SOULBLES (DDGS) FOR FATTENING RABBITS

(In preparation)

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the feeding value of distillers dried grains with solubles (DDGS) for fattening rabbits. Sixteen, individually caged 8-week-old rabbits were used to determine the digestibility. The DDGS was sundried and grinded before being incorporated in a basal diet. The inclusion level at the expense of all basal ingredients amounted to 30%. Basal and experimental diets were fed *ad libitum* to 8 rabbits during the trial. The substitution method was used for the calculation of the nutritive value according to the recommendations of Villamide *et al.* (2001). The determined digestibility of protein, fat, crude fibre and neutral detergent fibre digestibility amounted to 58.3%; 100%; 70.0% and 68.8% respectively. Digestible value of DDGS under investigation was 14.41 MJ/kg DM and digestible protein content was 19.8%. The results of the present work reveal that the inclusion of DDGS has potential as alternative feedstuff in rabbit diets.

Key words: rabbit, distillers dried grains with solubles, digestibility, nutritive value.

INTRODUCTION

The bio-fuel production is notably developed in the United States of America as a response to the necessity of depending less on the oil (Shurson, 2007). In Europe, availability of DDGS is going to increase allowing their large incorporation in animal diets. Distillers dried grains with solubles (DDGS) is a byproduct of the bio-ethanol industry. It is produced after the fermentation of starch from grain. As a result of this starch fermentation, the concentration of the remaining nutrients in the grain increases approximately two-to threefold (Spiehs *et al.*, 2002). Owing to its high protein content, DDGS is particularly perceived as a potential alternative for the traditional protein sources in livestock feeds, such as soybean meal, which could result in a more sustainable way of feeding. Their high energy, protein and fibre content (Widyaratne and Zijlstra, 2007; Liu, 2011; Alagón, 2013), made DDGS an attractive feed for many species.

DDGS has been fed mainly to ruminants, pigs and then birds, Fox, (2008). Several studies on dairy (Anderson *et al.*,2006) and beef cattle (Erickson *et al.*,2005), pigs (Cozanet *et al.*,2009; Stein and Shurson, 2009; Avelar *et al.*,2010; Cromwell *et al.*,2011), but also in poultry (Thacker and Widyaratne, 2007; Bregendahl, 2008; Cozanet *et al.*, 2010) have been conducted. Its usability and nutritive value has yet scarcely been much investigated in rabbit nutrition. Youssef *et al.* (2012) concluded that inclusion of DDGS in growing rabbits diets up to 30% improved performance and its economic efficiency. Also in the studies of Villamide *et al.* (1989) and Alagón *et al.* (2013a) DDGS showed high potential to be included in formulation of diets for rabbits because they are characterized by being good source of digestible energy, protein, fat and soluble fiber.

Gilbert (2013) concluded that DDGS may be a raw material of special interest for use in rabbit feed, characterized by providing the feed with energy and protein content, whose high fiber content may be better received in rabbit than other monogastrics due to the digestive particularities of this species. However, little research has been conducted to evaluate the feeding value of DDGS for rabbits, one study was conducted by Villamide *et al.* (1989). Therefore, data about nutritive value of this by product are scarcely reported especially for wheat based DDGS. In the last years increasing interest seems to be accorded but mainly for corn based DDGS, Soliman *et al.*,2010; Bernal-Barragán *et al.*,2010; Youssef *et al.*,2012) or and with a barley, wheat and corn mixture (Alagon *et al.* 2014). Strychalski *et al.* (2014) studied usability in the feeding of growing rabbits. Inclusion levels up to 30% and 40% were used in some previous studies without negative effects on the performance of growing rabbits (Mohamed *et al.*, 2013; Alagón *et al.*, 2014).

Due to the lack of scientific information on the nutritive value especially of wheat DDGS in diets for fattening rabbits, the objective of this paper was to determine digestibility and the nutritive value with preliminary data on growth performance of fattening rabbits.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design and diets

In total 16 rabbits (8/diet) of 8-9 weeks were used to determine the nutritive value of DDGS and they were housed on digestibility cages measuring 30 x 45 x 35 cm (width x depth x height). They were housed individually and the cages allowed an accurate collection of the faeces

separately from the urine. The balance trial was executed (duration: 4 days) after one week of adaptation to the experimental diets and to the cages (Perez *et al.*, 1995).

No dynamic ventilation or heating have been used in the experimental farm building. The rabbit house was windowless and a lighting program of 10 hours light and 14 hours dark was used during the whole trial period. The test was made during the period of April-May, the temperature adjoined approximately 22°C during the day and 14°C at the night. During the whole period, rabbits were fed *ad libitum* and the apparent digestibility was measured according to the European methodology (Perez *et al.*, 1995).

A basal diet (Table 1) was formulated to fulfil the requirements of fattening rabbits (De Blas and Mateos, 2010). The experimental diet was obtained by replacing 30% of the basal diet by the test raw material (DDGS).

DDGS was obtained from *Alco Bio Fuel*, Belgium and derived from the fermentation of a mixture of 60% wheat, 30% of sorghum and 10% of triticale.

Table 1. Basal diet used for the digestibility trial.

Ingredient	%
Alfalfa meal 16	30.10
Wheat	9.50
Wheat middlings	17.50
Beet pulp	11.00
Sunflower meal 28	15.00
Full fat soybeans	2.00
Flax chaff	7.00
Soybean oil	1.00
Vitamin and mineral premix	2.50
Molasses	4.00
NaCl	0.13
L-Lysine HCl	0.125
DL-methionine	0.120
Clinacox	0.02

Chemical analyses and digestibility

The following chemical analyses were executed: dry matter (SCD 71/393/EEC), Ash (5 h at 550°C), Nitrogen (ISO 5983-2), gross energy (Adiabatic calorimeter), crude fiber (AOCS, 2005), NDF, ADF and ADL (AOAC 2000, procedure 973.187) and Van Soest *et al.* (1991) and lipids (ISO 6492).

The chemical analyses were performed at ILVO laboratory in Melle (Belgium) on feeds, faeces and dehydrated

brewer's grain and maize silage according to EGRAN harmonised procedures (EGRAN, 2001). The calculation of the nutritive value was done according to the recommendations of Villamide *et al.* (2001). It is supposed that there exist additivity between the basal diet and the tested ingredient. A correction for the difference in dry matter between the basal mash and the test ingredient was executed to determine the exact inclusion level.

Statistical analysis

Digestibility data of diets and performance data were submitted to a one way ANOVA (StatSoft. 2012). Data are presented as means and standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

Final live weight of the rabbits averaged 2541 ± 158 g at the end of the balance trial.

The weight of the rabbits was on average 2017 ± 149 g at the beginning of the trial. This means that the average daily weight, during the adaptation and balance trial period, amounted to 43.6 g or in the normal range of rabbits at that age. No cases of mortality or morbidity have been reported during the test.

In Table 2 the chemical composition of the test ingredient and the 2 experimental diets is presented. DM content of DDGS was similar to those mentioned by Maertens *et al.* (2002), This DM content is suitable for maintaining product quality during storage.

As expected and reported in the literature, DDGS has high CP content. The tested DDGS batch is protein rich 30.6% DM of CP, in line with the values reported by NRC (1998) and RFI (1999) 29.8 and 29.0% respectively and slightly higher than the value reported by Villamide *et al.* (1989) 26.5% DM but higher than in the tables of Maertens *et al.* (2002) who mentioned 25.3%. Value estimated in the present work is in line with those mentioned by Belya *et al.* (2004) on corn DDGS who varied from 28.3% to 33.3% DM. On the other hand Alagón, (2013) assigned protein contents from 26.2 to 35.3 % DM.

Spiehs *et al.* (2011) attributed the high crude protein values to the fermentation technology who may result in more complete starch removal.

The test DDGS was also fat rich (7.5%). It equals the finding of Youssef *et al.* (2012) and is in line with the values mentioned by FRI (1999) and Spiehs *et al.* (2002) respectively 8.6%

and 8.9 % but lower than that reported by Villamide *et al.* (1989) 12.7% DM who described the fat as highly unsaturated and digestible. According to Alagón, (2013) grain source had a significant effect on fatty acid composition of DDGS. This author concluded that wheat DDGS was richer in fat and MUFA than barley and corn DDGS.

The ADF content equals the value found earlier for brewer's grain in a previous study, Guermah *et al.* (2016) 19.0 % and 19.2 % respectively and in line with those reported by Villamide *et al.* (1989) and NRC (1998), 17.0 and 17.5% DM respectively.

A positive correlation between the level of ADF in the diet and levels of acetic and butyric acid in the caecum was mentioned by Chao and Li, (2008). ADL value is higher than those mentioned by Maertens *et al.* (2002) and lower than these reported by Villamide *et al.* (1989) 1.2% and 12.5% respectively.

Table 2. Analysed composition of the test ingredient and diets (% as fed).

	DDGS	Basal diet	Diet 30% DDGS
Dry matter	90.12	91.71	91.52
Crude fat	7.48	4.35	5.65
Crude protein	30.59	16.97	21.52
Crude fibre	8.08	15.58	12.77
Neutral detergent fibre	28.96	29.98	26.55
Acid detergent fibre	19.06	17.42	17.54
Acid detergent lignin	8.41	4.05	6.30
Gross energy, (MJ/kg)	18.93	17.05	17.81

DDGS composition as described in previous studies, is characterized by low starch and high protein, oil and fibre content (Belyea *et al.*,2004; Widyaratne and Zijlstra, 2007; Alagón, 2013). The concentration of the remaining nutrients in the grain increases approximately two to threefold Spiels *et al.* (2002).

The digestibility of the diets is presented in table 3. The results of two rabbits on the DDGS diet were excluded from the dataset because of too divergent results (difference > 2 SD of

mean). All differences between the 2 diets in digestibility (DC) were significant ($P < 0.01$). With the exception of the crude protein, all DC were significantly higher in the DDGS diet. A good energy and fat digestibility was obtained for the DDGS diet. Otherwise, fibre fractions had a higher digestibility contributing to the good energy digestibility level. The low dietary CP digestibility (69.7%) on the other hand was lower than those mentioned by Youssef *et al.* (2012) with corn DDGS based diet (76.8%).

Table 3. Digestibility (%) of the diets.

	Basal	30% DDGS**	P
Dry matter	59.0 ± 1.3*	63.5 ± 0.5	<0.01
Crude protein	74.5 ± 1.8	69.7 ± 1.1	<0.01
Crude Fat	77.7 ^{a**} ± 1.6	85.3 ± 1.5	<0.01
Crude fibre	24.4 ± 2.9	37.9 ± 2.3	<0.01
Neutral detergent fibre	34.8 ± 2.2	44.9 ± 1.8	<0.01
Acid detergent fibre	22.6 ± 4.9	38.1 ± 2.2	<0.01
Gross energy	64.4 ± 1.3	69.4 ± 0.8	<0.01

*N=8/diet **N=6/diet

Digestibility of DDGS is shown in table 4. DDGS studied showed a quite low protein digestibility (58.3%), corresponding to a digestible crude protein concentration of 19.8% DM. This apparent digestibility coefficient is lower than the value reported by Maertens *et al.* (2002) and those of Villamide *et al.* (1989) 70 % and 68% respectively. Mohamed *et al.* (2013) using 10,20, 30 and 40% levels of DDGS, obtained DC of CP fluctuating between 66.76% and 77.88%. A high energy content is obtained, this value is higher than those reported by the tables of Maertens *et al.* (2002), 3030 kcal DE/kg DM and the value obtained by Youssef *et al.* (2012) for corn DDGS, 3058 kcal DE/kg DM. But it is slightly lower than the result assigned by Cheeke, (1987) and Villamide *et al.* (1989), 3900 and 3721 kcal DE/kg DM respectively.

The high energy digestibility (81.5%) could be related to the fat content and its high digestibility. Crude Fat digestibility was very high and even exceeded 100% (103.3%). Taking into account the variability of the determination, a 100% digestibility is assumed. The high fat digestibility may be related to its unsaturated fatty acids content. In general, fat of DDGS is characterized by a high content in PUFA.

Some authors have observed that fat digestibility increases when the level of unsaturated fatty

acids is greater (Maertens, 1998; Santomá *et al.*,1987; Xiccato, 2010).

This high fat digestibility was found with maize silage in a previous study (99%), Guermah *et al.* (2016).

Compared with other cereal by products, the DDGS tested has a higher energy content than wheat bran and wheat shorts (Maertens *et al.*,2002) and brewers' grain Guermah *et al.* (2016).

On the another hand, the fibre fractions of DDGS had a high digestibility. ADF digestibility was higher than the finding of Villamide *et al.* (1989) and Youssef *et al.* (2012) who found the same value of 58.3%. DDGS should contain fibre fractions that are highly digestible for the rabbit, such as pectins (Gidenne *et al.*,2010). Thus, this co product contains cell wall polysaccharides that could be valuable for the rabbit.

Table 4. Digestibility (%) of DDGS.

Nutrient	DDGS
Dry matter	74.2
Crude protein	58.3
Crude fat	103.3
Crude fibre	70.0
Neutral detergent fibre	68.8
Acid detergent fibre	75.0
Gross energy	81.5
Dig. energy (MJ/kg DM)	14.41
Dig. protein (% DM)	19.79

Cromwell *et al.* (1993) suggested that differences in processing procedure can be responsible for a substantial amount of the variability in the nutritional value of DDGS.

Vázquez *et al.* (2013) with inclusion levels of 10, 20 and 30%, did not observe cases of mortality in his trials. He concluded that including up to 20 % of DDGS in the diet for fattening rabbits is possible without altering their productive performance.

The rabbits reached high growth performances for this period (50-68 days of age) in the present trial. The values for growth rate and feed intake are higher than those found by Alagón *et al.* (2014) including wheat DDGS at 20% (49.5; 114 g/d) or Vázquez *et al.* (2013) 18.9 and 96.7g/d

for growth rate and feed intake respectively. According to Carabano and Fraga, (1992) fibrous raw materials containing a significant amount of protein are very suitable for rabbit feeding. Our results showed that wheat DDGS might be considered a valuable feedstuff for rabbit with high nutritive value, close to some oil meals (as rapeseed meal, 14.4 MJ DE and 273 g DP/kg DM). Data on feed intake and preliminary data of weight gain and feed conversion ratio are Shown in table 5.

Table 5. Overall feed intake and weight gain on the 2 diets*.

	Basal diet	Diet 30% DDGS	P
Feed intake (g/d):	176.1 ±16.6	181.3 ^a ±15.5	0.550
Daily weight gain (g/d)	47.9 ^a ±5.4	51.0 ^a ± 3.8	0.233
Feed conversion ratio	3.70 ±0.31	3.56 ±0.24	0.369

*n=8 and a fattening period of 18 days (50 – 68 days of age)

DDGS had a high palatability for rabbits as indicated by the high voluntary intake. Average daily intake of digestible protein and energy permitted a substantial growth of 51 g/d for the studied period.

This improved FCR on the DDGS diet could be partially explained by the lower energy content and higher fibre content of the basal diet especially ADL, frequently related with an FCR increase (Maertens, 2010).

Inclusion of up to 30% DDGS in the diets fed to growing-fattening rabbits resulted in improved performance and economic efficiency in line with Youssef *et al.* (2012). Also Vázquez *et al.* (2013) concluded that including up to 20 % of DDGS in the diet for fattening rabbits is possible without altering their productive performance. More experiments are needed to determine the optimal inclusion level of DDGS in rabbit diets. The determined nutritive value suggest that DDGS is a suitable ingredient for rabbit diets and provides more digestible energy, ADF, and protein than wheat bran and corn gluten feed Villamide *et al.* (1989).

CONCLUSIONS

The nutritive value of DDGS studied in this trial was 14.41 MJ/kg DM and DP 19.79 % DM. The DE concentration (3444 kcal/kg DM) is higher than the values of Villamide *et al.* (1989) for wheat bran and corn gluten feed (2727 and 3021 Kcal/kg DM) and lower than the value obtained by the same authors for DDGS (3721 Kcal/kg DM).

The nutritional characteristics of DDGS and the high price of corn, alfalfa and soybean meal encourage the use of higher levels of this alternative source than what has been used in the past. Results suggest that DDGS is a suitable ingredient for rabbit diets and provides more digestible energy, ADF, and protein than wheat bran and corn gluten feed.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Andre Vermeulen for his skilful technical assistance and to the laboratory personnel contribution for the analyses of diets and faeces.

REFERENCES

- Alagón G. 2013. Use of barley, wheat and corn distiller's dried grains with solubles in diets for growing rabbits: nutritive value, growth performance and meat quality. *PhD Thesis. Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia, 128 pp.*
- Alagón G., Arce O.N., Martínez-Paredes E., Ródenas L., Cervera C., Pascual J.J. 2014. Effect of inclusion of distillers dried grains and solubles from barley, wheat and corn in isonutritive diets on the performance and caecal environment of growing rabbits. *World Rabbit Sci., 22: 195-205 doi:10.4995/wrs.2014.1458*
- Belyea R.L., Rausch K.D., Tumbleson M.E. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Technol., 94: 293-298.*
- Bernal-Barragn H., Vazquez-Pedroso Y., Valerivi Nevaro M., Hernandez-Martinez C.A., Cerillo-Soto M.A., Juarez-Reyes A.S., Gutierrez-Ornelas E. 2010. Substitution of sorghum and soybean meal by distillers dried grains with soluble in diets for fattening rabbits. *J. Anim. Sci. Vol. 88 E supplement-2 (Abstract).*

- Bregendahl K. 2008. Use of Distillers Co-products in Diets Fed to Poultry. *In: Babcock B., Hayes D.J., Lawrence J.D. (ed). Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries. MATRIC Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 99-133.*
- Carabano R., Fraga M.J. 1992. The use of local feeds for rabbits. *Options Méditerranéennes, Série Séminaires, 17, 141-158.*
- Chao H.Y., Li F.C. 2008. Effect of level of fibre on performance and digestion traits in growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology, 144, 3-4 279- 291.*
- Cozannet P., Primot Y., Métayer J.P., Gady C., Lessire M., Geraert P.A., Le Tutour L., Skiba F., Noblet J., 2009. L'utilisation des drêches en alimentation porcine. *INRA Prod. Anim., 22, 11-16.*
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.P., Callu P., Lessire M., Skiba F., Noblet J. 2010. Composition and amino acids ileal digestibility of wheat distillers dried grains and solubles in pigs: Sources of variability. *Livest. Sci., 134: 176 -179.*
- Cromwell G.L., Herkelman K.L., Stahly T.S. 1993. Physical, Chemical and nutritional characteristics of the Distillers dried grains with soluble for chicks and pigs. *J. Animal Science, 71: 679.*
- Cromwell G.L., Azain M.J., Adeola O., Baidoo S.K., Carter S.D., Crenshaw T.D., Kim S.W., Mahan D.C., Miller P.S., Shannon M.C., 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: a cooperative study. *J. Anim. Sci. 89, 2801-2811.*
- De Blas C., Mateos G.G. 2010. Feed formulation. *In: The Nutrition of the Rabbit. 2nd ed., De Blas C., Wiseman J. (ed). CABI International, Wallingford, UK, 222-232*
- EGRAN. 2001. Technical note: Attempts to harmonize chemical analyses of feed and faeces for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci., 9: 57-64. doi:10.4995/wrs.2001.446*
- FRI. 1999. Feedstuffs Reference Issue. 1999. Ingredient analysis table. *Miller Publishing Co. Minnetonka, MN. 71:24-31*
- Gidenne T., Carabaño R., García J., de Blas C. 2010. Fibre digestión. *In: The Nutrition of the Rabbit. 2nd ed., De Blas C., Wiseman J. (ed). CABI International. Wallingford, UK, 66-82.*
- Gilbert, A.H., 2013. Use of barley, wheat and corn distiller's dried grains with solubles in diets for growing rabbits: nutritive value, growth performance and meat quality. *Ph.D. Thesis, Department of Animal Science, Valencia University, Spain.*

- Guermah H., Maertens L., Berchiche M. 2016. Nutritive value of brewer's grain and maize silage for fattening rabbits. *World Rabbit Sci.* 2016, 24:183-189. doi:10.4995/wrs.2016.43.53
- Grueso I., De Blas J.C., Cachaldora P., Mendez J., Losada B., García-Rebollar P. 2013. Combined effects of supplementation of diets with hops and of a substitution of starch with soluble fiber on feed efficiency and prevention of digestive disorders in rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 180: 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.009>
- Liu K.S. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 1508-1526. doi:10.1021/jf103512z
- Maertens L. 1998. Fat in rabbit nutrition: a review. *World Rabbit Sci.*, 6(3-4), 341-348.
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Sci.*, 10: 157-166. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2002.488>
- Maertens L. 2010. Feeding systems for intensive production, In: Nutrition of the rabbit (De Blas, C. & Wiseman, J., eds.). CABI; Wallingford; UK, pp. 253-266.
- Mohamed Kh. A., Osman A.M.A., Soliman M.A.H Enas, Toson M. A. 2013. Using dried distillers grains with solubles (DDGS) byproduct in fattening rabbit diets. *Egypt. Poult. Sci. Vol. (33) (IV): (695-702).*
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nuez Ortín W.G., Yu P. 2009. Nutrient variation and availability of wheat DDGS, corn DDGS and blend DDGS from bioethanol plants. *J. Sci. Food Agric.*, 89: 1754-1761.
- Pérez J.M., Lebas F., Gidenne T., Maertens L., Xiccato G., Parigi-Bini R., Dalle Zotte A., Cossu M.E., Carazzolo A., Villamide M.J., Carabaño R., Fraga M.J., Ramos M.A., Cervera C., Blas E., Fernández-Carmona J., Falcao e Cunha L., Bengala Ferre J. 1995. European reference method for *in vivo* determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci.*, 3: 41-43.
- Soliman A.Z.M., Ahmed F.G., El-Manyawi M.A.F., Abd-El-Ghany F.T.F. 2010. Effect of corn distiller's dried grains with soluble (DDGS) on growing rabbit performance. *Egypt. J. Rabbit Sci.*, 20: 31-48
- Santomá G, De Blas J.C., Carabaño R.M., Fraga M.J. 1987. The effects of different fats and their inclusion level in diets for growing rabbits. *Anim. Prod.*, 45, 291-300.
- Spiehs M.J., Whitney M.H., Shurson G.C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota.

J. Anim. Sci. 80: 2639-2645.

- Stein H.H., Shurson G.C. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.*, 87: 1292-1303. doi:10.2527/jas.2008-1290
- Strychalski J., Ju kiewicz J ., Gugolek A., Wyczling P. Daszkiewicz T., Zwoli ski C. 2014. Usability of rapeseed cake and wheat-dried distillers' grains with solubles in the feeding of growing Californian rabbits. *Archives of Animal Nutrition Vol. 68, No. 3, 227-244*, <http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2014.921482>
- Swiatkiewicz S., Koreleski J., 2008. *World's Poult. Sci. Journal*, 64: 257-265.
- Thacker P. A., Widyaratne G. P. 2007. Nutritional value of diets containing graded levels of wheat distillers grains with solubles fed to broiler chicks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 1386–1390. doi: 10.1002/jsfa.2871
- Van Soest. P.J., Roberston J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dietary Sci.*, 74: 3583-3597.
- Vázquez Y, Bernal H, Valdivié M, Gutiérrez E, Castellanos LM, Hernández CA, Juárez A, Cerrillo MA. 2013. Use of dehydrated distillery grains with solubles in diets for fattening rabbits. *Cuban.J. Agr. Sci.* 47:45-49.
- Villamide J.M., De Blas J.C., Carabaño R. 1989. Nutritive value of cereal byproducts for rabbits: wheat bran, corn gluten feed and dried distillers grains and soluble. *J. Appl. Rabbit Res.*, 12 : 152-155.
- Villamide M.J., Maertens L., Cervera C., Pérez J.M., Xiccato G. 2001. A critical approach of the calculation procedures to be used in digestibility determination of feed ingredients for rabbits. *World Rabbit Sci.*, 9: 19-25.
- Widyaratne G.P, Zijlstra R.T. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 87: 103-114.
- Xiccato G. 2010. Fat Digestion. In: C. de Blas and J. Wiseman (eds.) *Nutrition of the Rabbit, UK, CABI Publishing CAB International, Wallingford, UK*, 56-65.
- Youssef W.A., El-Magid S.S.A., El-Gawad A.H.A., El-Daly E.F., Ali H.M. 2012. Effect of inclusion of distillers dried grains whit solubles (DDGS) on the productive performance of growing rabbits. *American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci.*, 12: 321-326

Partie **III**

DISCUSSION GENERALE

L'objectif de notre travail est l'étude de sources alimentaires alternatives en nutrition du lapin. Les résultats des travaux de cette thèse nous ont permis de mieux connaître ces matières premières expérimentées. Ces résultats pourraient ainsi enrichir les tables des valeurs nutritives des sources utilisables en alimentation du lapin.

Les sources ayant fait l'objet d'investigation dans cette thèse sont la pulpe de chicorée déshydratée (*Cichorium intybus* L.). Son utilisation comme source de fibres solubles chez le lapin ainsi que la détermination de sa valeur nutritive ont fait l'objet de la première et de la deuxième partie. La détermination de la valeur nutritive de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs plante entière (*Zea mays* L.) a fait l'objet de la troisième partie de l'étude expérimentale. Cette dernière utilisée surtout chez les ruminants n'a pas été très étudiée chez le lapin.

Enfin, la détermination de la valeur nutritive de la drêche de bioéthanol DDGS a fait l'objet de la quatrième partie de cette thèse.

Les essais se sont déroulés à l'institut de recherche agronomique et de la pêche 'ILVO' en Belgique dans de très bonnes conditions expérimentales, supervisés par le co directeur de thèse Docteur Luc Maertens. Les animaux et les matières premières et coproduits étudiés étaient disponibles. Nous avons pu utiliser plus de 200 lapins dans l'essai de la première partie. Le séchage des coproduits s'est effectué par étalage au soleil sur l'enceinte même de l'usine d'aliments de l'institut où ils ont été ensuite intégrés dans les aliments expérimentaux. Les bâtiments d'élevage de l'institut permettent par leur équipement (ambiance sous contrôle, pression, température, cages, moyens d'identification, de nettoyage..etc.) de conduire des essais dans de très bonnes conditions. Les essais ont été conduits en respectant les recommandations de l'Union Européenne sur la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques European Union (2010).

Les échantillons d'aliments, des matières premières et des fèces ont été dirigés vers le laboratoire limitrophe de l'institut et analysés.

Les sources alternatives étudiées dans cette thèse étaient largement disponibles dans l'environnement immédiat de la ferme expérimentale. Leur coût est très intéressant étant pour la plus part des coproduits industriels. Par ailleurs, l'ensilage de maïs plante entière dont la valeur nutritive chez le lapin est très peu étudiée, Martinez *et al.* (2006) est prélevé de celui distribué aux ruminants de la ferme de l'institut.

En dépit de leur prix réduit, une analyse économique du coût de ces matières alternatives serait souhaitable. Des études plus exhaustives et définitives sur les taux d'incorporation, l'innocuité et

caractéristiques technologiques des aliments dans lesquels elles sont intégrées seraient également nécessaires.

Les fibres solubles (hémicelluloses et pectines) ont pour rôle de favoriser l'activité microbienne caecale. Ces différentes fractions des fibres sont désormais mieux connues grâce aux nouvelles méthodes analytiques utilisées Trocino *et al.* (2013).

Comme sources de fibres solubles, les pulpes d'agrumes, de pomme et surtout de betterave sont les plus utilisées en alimentation du lapin. La pulpe de chicorée est le résidu d'extraction partielle par diffusion de l'inuline des racines de chicorée. Son rôle positif sur l'activité fermentaire caecale a été étudié notamment par Volek et Marounek, (2011). Cette source est connue pour ses teneurs importantes en inuline et pectines, au minimum 7% et 27% respectivement Socode, (2013). Selon la même source, elle contient en moyenne 87% (MS), 8,8% (CP), 32% NDF, 24 % ADF et 2% de lignine.

L'effet des teneurs en fibres solubles dans l'aliment pour lapin (teneurs supérieures à 12%) n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études. Le but recherché lors de cette première partie de l'étude est l'évaluation de l'utilisation de la pulpe de chicorée déshydratée comme source de fibres solubles en remplacement de la pulpe de betterave et son effet sur la croissance et les paramètres d'abattage chez le lapin en croissance. La pulpe de chicorée a été incorporée à 10 et 20% en remplacement de la pulpe de betterave et en comparaison avec un autre aliment, le témoin à taux de fibres solubles réduit (7,3%).

La pulpe de chicorée utilisée contient 34 % de fibres solubles. La teneur en fibres solubles des aliments expérimentaux varie de 7,3% pour le témoin, formulé pour être pauvre en fibres solubles, 10% pour les aliments contenant de la pulpe de betterave et de la pulpe de chicorée à 10% et à 13,7% pour l'aliment contenant 20% de pulpe de chicorée.

Dans la partie 1, la pulpe de chicorée a permis des vitesses moyennes de croissance très grandes, 54,4 et 54,8 g/j et des consommations moyennes de 158 g/j respectivement pour le taux d'incorporation de 10 % et de 20%. Sur la période globale de l'essai, ni le taux d'incorporation ni la source de fibres solubles utilisée ne paraissent affecter la vitesse de croissance et le niveau d'ingestion. Ce résultat corrobore ceux de Volek et Marounek (2011) utilisant des aliments contenant des racines de chicorée déshydratée à 5 et 10%.

Les teneurs en fibres solubles auraient influencé la bonne santé digestive des lapins et le faible taux de mortalité enregistré (4,3% et 6,3%). L'effet des fibres solubles sur la réduction du taux de mortalité a été souligné notamment par Martinez-Vallespin *et al.* (2011) et Trocino *et al.* (2013). Par ailleurs, une meilleure efficacité alimentaire a été obtenue avec le taux d'incorporation de 20% de pulpe de chicorée. En effet, l'indice de consommation qui est de

(2,88) a été amélioré de manière significative avec le taux d'incorporation de la pulpe de chicorée le plus élevé (20%). Cette meilleure efficacité alimentaire obtenue serait due à l'importante vitesse de croissance réalisée par les lapins nourris avec l'aliment à 20% de pulpe de chicorée malgré un niveau d'ingestion similaire avec les lapins nourris avec l'aliment témoin. Connaissant l'impact de l'efficacité alimentaire sur la rentabilité, la durabilité des élevages ainsi que leurs effets sur l'environnement, l'indice de consommation est considéré étant l'élément clé des performances d'un système d'élevage Maertens et Gidenne, (2016). Un intérêt particulier doit être accordé à cet aspect dans l'investigation de nouvelles sources alimentaires.

Ce taux d'incorporation apporte plus de fibres solubles en remplacement de l'amidon de blé et des fibres insolubles de la farine de luzerne qui composent les autres aliments et aurait procuré davantage d'énergie digestible aux lapins. La teneur importante en énergie digestible de ce coproduit énergétique riche en fibres solubles serait due à la bonne digestibilité de ses fibres solubles qui est supérieure à 75% Grueso *et al.* (2013).

Par ailleurs, l'hypothèse d'une surestimation de l'énergie digestible par rapport à la valeur calculée selon Maertens *et al.* (2002) est plausible. Cette question sera éclaircie dans la partie II lors de la détermination de l'énergie digestible de la pulpe de chicorée pour le lapin.

En plus de l'impact de la pulpe de chicorée sur la santé digestive des lapins, des vitesses moyennes de croissances élevées enregistrées, cette tendance à une meilleure efficacité alimentaire relevée avec le taux d'intégration de 20% constitue un résultat intéressant à confirmer par d'autres essais ultérieurs. Une analyse économique serait souhaitable pour confirmer ou infirmer la "faisabilité" de l'incorporation de ce coproduit comme source alternative riche en fibres solubles et déterminer son taux d'incorporation optimum.

Par ailleurs, aucune différence significative n'a été enregistrée par l'incorporation de la pulpe de chicorée à un taux de 20% sur les paramètres d'abattage.

Ainsi, nous retenons de cette première partie de notre étude que la pulpe de chicorée déshydratée peut être utilisée à un taux 20% sans effets néfastes sur les performances de croissance, l'ingestion et les paramètres d'abattage. Ce coproduit riche en énergie et en fibres solubles (34%) peut constituer une source alternative intéressante en alimentation du lapin.

Dans la II^{ème} partie de l'étude expérimentale nous avons déterminé la valeur nutritive de la pulpe de chicorée déshydratée. Nous avons utilisé la méthode de substitution (la pulpe de chicorée a été substituée à 30% dans le régime de base). Aucun cas de mortalité ou de morbidité n'a été enregistré durant cet essai.

La détermination *in vivo* de la valeur nutritive de la pulpe de chicorée montre qu'elle apporte aux lapins en croissance près de 12,14 MJ/ kg MS d'énergie digestible et 5,3 g/ kg MS de protéines

digestibles. Sa composition chimique montre des teneurs importantes en fibres (CB, NDF et ADF = 19,5; 27,5 et 25%). Par ailleurs, le niveau de digestibilité des fractions fibreuses est très élevé (65,5 ; 56,0 et 83,0%). La pulpe de chicorée incorporée à 30% a permis de bonnes performances de croissance pour la période considérée. Nous avons relevé exactement la même valeur d'ingéré moyen quotidien que lors de l'essai de la première partie avec un taux d'incorporation de 20% de pulpe de chicorée (158 g/j). Ce résultat confirme l'appétibilité de cette source de fibres solubles chez le lapin.

Les vitesses moyennes de croissance très grandes obtenues en première partie (54,4 et 54,8 g/j) sont confirmées en enregistrant un GMQ de 52,4 g/j lors de cet essai avec un taux d'incorporation de 30% de pulpe de chicorée. Les résultats d'ingestion et de croissance reflètent le bon statut physiologique des lapins. La bonne digestibilité des fibres et leur valorisation par le lapin en croissance comme il a été souligné dans la bibliographie aurait contribué à ces performances de croissance et au bon état sanitaire des animaux. Le résultat principal à retenir de cette deuxième partie est la valeur nutritive de la pulpe de chicorée. Celle-ci explique les performances obtenues lors de l'essai de la première partie. La pulpe de chicorée peut être considérée comme une très bonne source de fibres et d'énergie constituant ainsi une source alternative bénéfique en alimentation des lapins en croissance.

Dans la partie III de l'étude expérimentale nous avons déterminé la valeur nutritive de la drêche de brasserie et de l'ensilage de maïs. Nous avons utilisé la méthode de substitution (les matières premières ont été substituées à 30% dans le régime de base). Aucune mortalité n'a été enregistrée pour les deux matières expérimentées.

Les résultats obtenus montrent que la drêche de brasserie constitue à la fois une source de fibres intéressante (ADF 19,2% ; NDF 49,0%) mais surtout de protéines (20,7%) et d'énergie (11,66 MJ/kg MS). Une digestibilité des protéines élevée a été obtenue (76,2%) apportant 15,7 % (MS) de protéines digestibles. La teneur élevée en ED obtenue pourrait s'expliquer par la l'importance de la digestibilité et de la teneur élevée de la fraction de matières grasses qu'elle contient (10,3% de MG digestible à 83,5%).

Les résultats obtenus montrent ainsi un triple intérêt en formulation de la drêche de brasserie. Elle constitue à la fois une source de fibres, d'énergie avec un apport important en protéines. Par ailleurs, les performances de croissance et d'ingestion enregistrées à titre indicatif (tableau 1) sur la période de l'essai, qui a été prolongée à 74 jours d'âge, montrent un niveau d'ingestion similaire entre les lapins ayant reçu l'aliment à 30% de drêche de brasserie et ceux nourris avec l'aliment témoin 176 et 177g/j. Le niveau d'ingestion est par contre supérieur à celui des lapins nourris avec l'aliment contenant 30% d'ensilage de maïs (144g/j).

Tableau 1. Performances de croissances des lots drêche de brasserie et ensilage de maïs.

	Régime de Base	Drêche de brasserie 30%	Ensilage de maïs 30%	P
Ingestion (g/j)	176 ^a ±16,6	177 ^a ±13,1	144 ^b ±10,5	0,001
Gain de poids (g/j)	47,9 ^a ±5,4	51,3 ^a ± 3,5	40,2 ^b ± 4,1	0,001
Indice de consommation	3,70±0,31	3,48±0,33	3,60 ±0,15	0,341

*n=8; de 56 à 74 j d'âge

La détermination de la valeur nutritive de l'ensilage de maïs plante entière confirme sa faible teneur en protéines digestibles (5,7%MS). Cependant, une très bonne digestibilité des protéines de des matières grasses a été obtenue (77,2% et 99,1%, respectivement).

Cette source de fibres s'avère aussi riche en énergie digestible qui est de 11.10 MJ/kg MS. Elle est supérieure à celle donnée par Maertens *et al.* (2002) pour la farine de luzerne. Les teneurs en NDF, ADF et ADL (26,0; 14,4 et 1,5) montrent que le maïs ensilé a été coupé à un stade jeune. Le stade de coupe est un facteur majeur qui détermine sa valeur nutritive, sa teneur en MS varie de 23 à 37% et sa teneur en protéines décroît avec le stade de maturité. Ce dernier affecte également le niveau d'ingestion. L'ingestion et la vitesse de croissance obtenues avec l'aliment à 30% d'ensilage de maïs sont inférieures à celles des lots témoins et de drêche de brasserie. Même si ces données sont à titre indicatif à cause de la durée de l'essai et du nombre d'animaux réduits, cette différence serait due au fait que la plante entière du maïs soit ensilée. Des études plus exhaustives avec un nombre d'animaux et une durée d'engraissement suffisants seront nécessaires pour déterminer les effets de l'ensilage, du stade de coupe et du taux optimum d'incorporation.

Ces résultats montrent que ces deux sources alternatives étudiées présentent de réelles potentialités en formulation d'aliments pour lapins. Traditionnellement utilisées en alimentation des ruminants, d'une large disponibilité et à moindre coût, leur données en alimentation du lapin sont cependant peu ou pas abordées. Leur impact sur la santé digestive des lapins (aucune mortalité n'a été enregistrée dans aucun des lots), leur valeur énergétique et leur digestibilité élevée en font d'elles des sources intéressantes en alimentation du lapin. Si l'ensilage de maïs présente comme prévu une faible teneur en protéines, ses apports en énergie et en fibres s'avèrent supérieurs à plusieurs autres sources fibreuses telles que la farine de luzerne et la pulpe de betterave. Ces résultats reflètent une bonne source alternative à explorer chez le lapin.

Martinez *et al.* (2006) et Gaafar *et al.* (2010) ont conclu que la plante entière de maïs déshydratée peut être incorporée au moins à un taux de 20% sans effets négatifs sur l'ingestion, la vitesse de croissance et les paramètres d'abattage.

Dans la IV^{ème} partie de l'étude expérimentale nous avons déterminé la valeur nutritive de la drêche de bioéthanol (DDGS). Le coproduit utilisé dans notre essai provient de la fermentation d'un mélange de 60 % de blé, de 30% de sorgho et 10% de triticale. La drêche de bioéthanol produite en abondance par une usine de la région d'étude (*Alco Bio Fuel*, Belgique) utilisée chez les ruminants et chez le porc n'a pas fait l'objet d'investigations chez le lapin. Dans l'objectif de diversification de sources alimentaires potentielles alternatives en alimentation du lapin nous avons étudié la détermination de sa valeur nutritive. Comme il a été signalé dans la bibliographie, la teneur en protéines brutes s'est révélée très importante (30,6 % MS).

Les résultats obtenus pour sa valeur nutritive montrent que ce coproduit apporte aux lapins en croissance près de 14,4 MJ/ kg MS d'énergie digestible et 19,8 %MS de protéines digestibles.

D'importantes teneurs en fibres sont également obtenues (NDF, ADF et ADL : 29,0 19,0 et 8,4%). Connaissant l'importance des fractions fibreuses chez le lapin, le DDGS s'avère ainsi une source alternative intéressante en formulation d'aliments pour cette espèce. Il constitue à la fois une source de protéines, de fibres et d'énergie. Cette source alimentaire au triple intérêt est particulièrement recherchée en formulation d'aliments pour lapins en élevage rationnel. La prospection et la détermination de la valeur nutritive de ces nouvelles sources alternatives rentrent dans la stratégie de leur substitution aux sources dites conventionnelles importées (tourteau de soja, maïs et luzerne). Le DDGS peut par sa valeur nutritive remplacer le tourteau de soja dans l'aliment pour lapins.

Le DDGS étudié contient 7,5% de lipides très digestibles. Cela pourrait être lié à la richesse en acides gras polyinsaturés des lipides de ce coproduit comme il a été signalé en bibliographie. Les fractions fibreuses ont également montré une bonne digestibilité (68,8 et 75,0% pour NDF et ADF respectivement). Ces apports en nutriments ont permis aux lapins un bon statut sanitaire (aucune mortalité n'a été enregistrée durant l'essai) et de bonnes performances de croissance. Une vitesse moyenne de croissance de 51 g/j et une consommation moyenne de 181g/j ont été enregistrées. Le niveau d'ingestion important reflète l'appétence de ce coproduit sans toutefois détériorer l'indice de consommation ($3,56 \pm 0,24$ vs $3,70 \pm 0,31$ pour l'aliment de base). Dans des études antérieures le DDGS a été incorporé à des taux de 20, 30 et 40% dans l'aliment granulé sans effets néfastes sur la santé et les performances des lapins (Youssef *et al.*, 2012; Vázquez *et*

al., 2013; Alagón *et al.*, 2014). Par ailleurs, Youssef *et al.* (2012) et Mohamed *et al.* (2013) dans des essais avec des taux d'incorporation allant jusqu'à 40% recommandent un optimum de 20% et concluent sur l'efficacité économique de l'utilisation du DDGS en comparaison au maïs et tourteau de soja.

Nos résultats ont permis d'améliorer nos connaissances sur la composition et la valeur nutritionnelle du DDGS à base d'un mélange de céréales et corroborent ceux des études antérieures. Le DDGS a montré une digestibilité très élevée de ses nutriments par les lapins, (lipides 100%, énergie brute 81,5% et cellulose brute 70%). Toutefois, des essais de valorisation utilisant un nombre de répétitions suffisant et incluant une étude économique seront nécessaires. L'ensilage de maïs, traditionnellement utilisé chez les ruminants s'est également révélé une très bonne source de fibres et d'énergie. La drêche de brasserie plus utilisée également chez les ruminants constitue de son côté une très bonne source à la fois de fibres, de protéines et d'énergie pour le lapin.

Le DDGS coproduit principalement connu en alimentation des ruminants, pas très étudié chez le lapin s'avère d'une très bonne valeur nutritive pour cette espèce. Par ses apports en fibres, protéines et en énergie il constitue une source alternative de choix en remplacement des matières premières classiques. Ces sources alternatives testées dans les travaux de cette thèse ont eu un impact positif sur la santé des lapins, n'ayant enregistré aucune mortalité lors des essais des valeurs nutritives et un taux très bas durant l'essai de la 1^{ère} partie. La composition chimique et la valeur nutritive des sources alimentaires étudiées sont récapitulées dans le tableau 2.

Tableau 2. Composition chimique et valeur nutritive des matières premières étudiées

	MS%	PB%	EB (MJ/kg)	NDF%	ADF%	ADL %	ED (MJ/kg MS)	PD (g/kg MS)
Pulpe de chicorée	88,4	7,9	15,4	27,5	25,0	1,4	12,1	5,3
Ensilage de maïs	88,4	5,7	16,3	26,0	14,4	1,5	11,1	4,4
Drêche de brasserie	92,3	20,6	19,9	49,1	19,2	4,3	11,7	15,7
Drêche de bioéthanol	90,1	30,6	18,9	29,0	19,0	8,4	14,4	17,8

Partie IV-

CONCLUSION GENERALE
&
PERSPECTIVES

L'objectif assigné dans le cadre de cette thèse est l'étude de sources alimentaires alternatives en nutrition du lapin.

Pour ce faire, nous avons d'abord déterminé la valeur nutritive de la pulpe de chicorée en tant que source de fibres solubles chez le lapin et étudié son effet sur les performances de croissance et les paramètres d'abattage. Ce coproduit apporte aux lapins environ 12,14 MJ/kg MS d'énergie digestible et 5,3 g/kg MS de protéines digestibles. Ces résultats constituent la principale originalité de ce travail. Ils permettront une meilleure utilisation de cette source de fibres solubles en formulation d'aliments pour lapins.

La pulpe de chicorée, considérée comme matière première innovante s'avère être une très bonne source de fibres solubles, elle est bien valorisée par le lapin. Elle permet de très bonnes performances de croissance et une bonne efficacité alimentaire.

La vitesse moyenne de croissance ainsi que le niveau d'ingestion enregistrés sont élevés 54,8 g/j et 158g/j respectivement. Un meilleur indice de consommation de 2,88 est obtenu avec l'aliment au taux d'incorporation 20%. Ces résultats traduisent de réelles potentialités de cette source innovante à confirmer par d'autres essais.

Ensuite, nous avons déterminé la valeur nutritive de la drêche de brasserie et montré le rôle important qu'elle pourra jouer en formulation d'aliments pour lapins grâce à ces apports en fibres, énergie et en protéines.

Par ailleurs, la détermination de la valeur nutritive de l'ensilage de la plante entière du maïs montre qu'elle constitue également une bonne source de fibres et d'énergie.

Nous avons enfin déterminé la valeur nutritive de la drêche de bioéthanol (DDGS) et conclu qu'elle pourra constituer une source alternative importante par ses apports élevés en protéines, fibres et énergie.

Suite à ces résultats probants obtenus avec ces sources alimentaires étudiées, nous pouvons affirmer que l'on peut ainsi les intégrer comme sources alternatives en alimentation du lapin. Dans un contexte de diversification de sources alimentaires, leur utilisation traditionnelle en alimentation des ruminants peut donc être étendue pour les lapins. Ceci revêt un intérêt nutritionnel, économique et environnemental.

Les valeurs nutritives des sources alimentaires étudiées dans cette thèse confirment la possibilité de formuler autrement des aliments granulés équilibrés pour lapins, et les substituer aux sources classiques, à savoir la luzerne, le maïs et le tourteau de soja.

Ce travail permet d'envisager de réelles perspectives. Nous pouvons émettre quelques axes de développement pour leur utilisation pratique en formulation d'aliments granulés : Des études plus détaillées peuvent désormais être conduites en vue de :

- Déterminer les taux optimum d'incorporation pour chacune de ces sources alternatives.

- Envisager des combinaisons adéquates de deux ou plusieurs de ces sources, ainsi que d'autres sources végétales complémentaires pour formuler des aliments équilibrés.

- Pour l'ensilage de maïs, il est judicieux de choisir le stade de coupe optimale sachant que sa valeur nutritive est liée à son stade de maturité et étudier l'effet de l'ensilage sur l'ingestion.

- Envisager une déshydratation préalable à l'air chaud, avec des séchoirs industriels pour les coproduits humides.

- Mener des études technico économiques en vue d'évaluer les aspects nutritionnel, économique et environnemental de l'incorporation de ces coproduits et fourrages dans l'aliment granulé.

Références bibliographiques

- Alagón G., Arce O.N., Martínez-Paredes E., Ródenas L., Cervera C., Pascual J.J. 2014. Effect of inclusion of distillers dried grains and solubles from barley, wheat and corn in iso nutritive diets on the performance and caecal environment of growing rabbits. *World Rabbit Sci.*, 22: 195-205 [doi:10.4995/wrs.2014.1458](https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1458)
- Cheeke P. R., 1987. Rabbit Feeding and Nutrition. *New York Academic Press, 1987.*
- Grueso I., De Blas J.C., Cachaldora P., Mendez J., Losada B., García-Rebollar P. 2013. Combined effects of supplementation of diets with hops and of a substitution of starch with soluble fiber on feed efficiency and prevention of digestive disorders in rabbits. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 180: 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.01.009>
- European Union 2010. Protection of animals used for scientific purpose. *Official Journal of the European Union, L276/33-L276/79.*
- Gaafar H.M.A., Abd El-Lateif A.I.A., Salwa Abd El-Hady B. 2010. Effect of partial replacement of berseem hay by corn silage on performance of growing rabbits. *Archiv. Zootech.*, 14: 59-69. <http://www.researchgate.net/publication/266502588>.
- Martínez M., Biglia S., Moya V.J., Blas E., Cervera C. 2006. Nutritive value of dehydrated whole maize plant and its effect on performance and carcass characteristics of rabbits. *World Rabbit Sci.* 14: 15-21.
- Maertens L. 2010. Feeding systems for intensive production, In: Nutrition of the rabbit (De Blas, C. & Wiseman, J., eds.). *CABI; Wallingford; UK, pp. 253-266.*
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G. 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Sci.*, 10: 157-166. <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2002.488>
- Maertens L., Gidenne T. 2016. Feed efficiency in rabbit production: Nutritional, technico-economical and environmental aspects. *In Proc.11thWorld Rabbit Congress-June 15-18,2016- Qingdao-China.*
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.liv.sci.2011.05.014>

- Mohamed Kh. A., Osman A.M.A., Soliman M.A.H Enas, Toson M. A.2013. Using dried distillers grains with solubles (DDGS) byproduct in fattening rabbit diets. *Egypt. Poul. Sci. Vol. (33) (IV): (695-702).*
- Socode. 2013. Ground and dehydrated chicory pulp. Available at: http://www.socode-warcoing.be/en/fibres_pulpe.htm Accessed: April 2013.
- Trocino A., García J., Carabaño R., Xiccato G. 2013. A meta- analysis on the role of soluble fibre in diets for growing rabbits. *World Rabbit Sci., 21: 1-15.* <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2013.1285>
- Vázquez Y, Bernal H, Valdivié M, Gutiérrez E, Castellanos LM, Hernández CA, Juárez A, Cerrillo MA. 2013. Use of dehydrated distillery grains with solubles in diets for fattening rabbits. *Cuban.J. Agr. Sci. 47:45-49.*
- Volek Z., Marounek M. 2011. Dried chicory root (*Cichorium intybus L.*) as a natural fructan source in rabbit diet: effects on growth performance, digestion and caecal and carcass traits. *World Rabbit Sci., 19: 143-150.* <http://dx.doi.org/10.4995/wrs.2011.850>
- Youssef W.A., El-Magid S.S.A., El-Gawad A.H.A., El-Daly E.F., Ali H.M. 2012. Effect of inclusion of distillers dried grains whit solubles (DDGS) on the productive performance of growing rabbits. *American-Eurasian. J. Agric. Environ. Sci., 12: 321-326*