



HAL
open science

Une méthode alternative de reproduction chez la lapine

Alexandre Feugier

► **To cite this version:**

Alexandre Feugier. Une méthode alternative de reproduction chez la lapine : un modèle pour une approche systémique du fonctionnement des élevages cunicoles. Alimentation et Nutrition. Institut National Polytechnique (Toulouse), 2006. Français. NNT : 2006INPT017A . tel-04625917

HAL Id: tel-04625917

<https://ut3-toulouseinp.hal.science/tel-04625917>

Submitted on 26 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Présentée pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

École doctorale : Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries

Spécialité : Qualité et Sécurité des Aliments

Par Alexandre FEUGIER

**UNE METHODE ALTERNATIVE DE REPRODUCTION
CHEZ LA LAPINE : UN MODELE POUR UNE
APPROCHE SYSTEMIQUE DU FONCTIONNEMENT
DES ELEVAGES CUNICOLES**

Soutenue le 01/12/2006 devant le jury composé de :

L. FORTUN-LAMOTHE	Directeur de thèse
C. CASTELLINI	Rapporteur
P. FAVERDIN	Rapporteur
F. BOCQUIER	Membre
D. LICOIS	Membre

Remerciements

Ce travail a été réalisé à la Station de Recherches Cunicoles (INRA, Toulouse) et à l'unité Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques (INRA, Le Magneraud).

Je tiens à remercier vivement les personnes qui ont accepté de participer au jury de ce travail :

Cesare CASTELLINI de la Faculté Agronomique de Perugia (Italie) et Philippe FAVERDIN de l'UMR INRA/ENSAR Production du Lait, qui me font l'honneur d'être rapporteurs de cette thèse.

François BOCQUIER de l'UMR INRA/ENSAM/CIRAD Élevage des Ruminants en Régions Chaudes et Dominique LICOIS de l'unité INRA Pathologie Aviaire et Parasitologie, pour avoir accepté de participer à ce jury.

Laurence LAMOTHE, directeur de cette thèse, pour m'avoir encadré, soutenu et fait confiance au cours de ce projet.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation de ces travaux :

-Les membres de mon comité de pilotage pour leurs discussions fertiles : Fabienne BLANC (ENSAM), Sylvie COURNOT (ENITA-CF), Michèle THEAU-CLEMENT (INRA), Annick GIBON (INRA), Hervé JUIN (INRA), Thierry GIDENNE (INRA), Robert FAIVRE (INRA), Dominique LICOIS (INRA) et Gérard BOLET (INRA).

-L'équipe dynamique et sympathique du Magneraud : Eddie LAMOTHE, Nicole MILCENT, Jean-luc COUPEY, François PETIT, Serge OLLIVIER, Patricia RIDEAUD, Christelle DUPONT, Carole MOREAU-VAUZELLE, Lucette BOUTIN.

-Et bien sûr le personnel de la Station de Recherches Cunicoles qui m'a accueilli chaleureusement et que je remercie sincèrement pour son aide et son contexte agréable de travail : Viviane BATAILLER, Muriel SEGURA, Véronique TARTIE, Carole BANNELIER, Sylvie COMBES, Béatrice DARCHE, Jean DE DAPPER, Laurent CAUQUIL, Patrick AYMARD, Jacques DE DAPPER, André LAPANOUSE. Miranda SMIT pour son aide au cours de son stage. Juan ORENCO pour son soutien au cours de son Post-Doc. Sans oublier Mélanie, Rory, et la bonne humeur de Kimsé.

Publications et communications issues de la thèse

Publications dans des revues à comité de lecture :

FEUGIER A., SMIT M.N., FORTUN-LAMOTHE L., GIDENNE T., 2006. Interaction between weaning age and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits. *Anim. Sci.*, 82, 493-500.

FEUGIER A., FORTUN-LAMOTHE L., 2006. Extensive reproductive rhythm and early weaning improve body condition and fertility of rabbit does. *Anim. Res.*, 55, 459-470.

Communications dans des congrès :

FEUGIER A., FORTUN-LAMOTHE L., GIDENNE T., 2004. Growth and health status of early weaned rabbits, according to the dietary protein level. European Meeting COST Action 848, workshop Nutrition & Pathology, 24-26 June 2004, Madrid, Spain, p39.

FEUGIER A., LAMOTHE L., 2005. Reduction of reproductive rhythm and lactation length improve body condition and fertility of rabbit does. European Meeting COST Action 848, workgroup 1 & 2, 23-25 June 2005, Palermo, Italy, p33.

FEUGIER A., FORTUN-LAMOTHE L., LAMOTHE E., JUIN H., 2005. Evaluation d'une conduite alternative de la reproduction chez la lapine : conséquences sur l'état corporel et les performances de reproduction. 1^{ères} Journées d'animation Scientifique du Département PHASE, 15-16 mars 2005, Tours, France, p220.

FEUGIER A., FORTUN-LAMOTHE L., LAMOTHE E., JUIN H., 2005. Une réduction du rythme de reproduction et de la durée de la lactation améliore l'état corporel et la fertilité des lapines. 11èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 29-30/11/2005, 107-110.

FEUGIER A., SMIT M.N., FORTUN-LAMOTHE L., GIDENNE T., 2005. Interaction entre la composition de l'aliment et l'âge au sevrage sur les performances du lapin de chair. 11èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 29-30/11/2005, 137-140.

FEUGIER A., LAMOTHE L., 2006. Conceptualisation du fonctionnement des élevages cynicoles. Journées de restitution des projets financés sur crédits incitatifs 2004-2005 du Département PHASE, Tours, 14-15/09/2006.

Sommaire

Liste des Figures.....	7
Liste des Tableaux.....	8
Annexe.....	9
Introduction générale	10
1 L'approche systémique	13
1.1 Introduction à l'approche systémique	13
1.1.1 Description du système	14
1.1.2 Objectif de l'approche systémique : aborder un système complexe.....	14
1.1.3 Comparaison avec l'approche analytique.....	18
1.2 Analyse des systèmes, représentation et exemple : le système d'élevage	19
1.2.1 Analyse et représentation des systèmes.....	19
1.2.2 Le système d'élevage	20
2 Le système d'élevage cunicole	23
2.1 Présentation générale du système d'élevage cunicole et de notre problématique	23
2.1.1 Présentation et représentation générale du système d'élevage cunicole.....	23
2.1.2 La problématique.....	26
2.2 Choix des leviers biotechniques pilotant le système d'élevage cunicole vers la résolution de notre problématique.....	28
2.2.1 Les leviers biotechniques possibles de l'atelier maternité.....	29
2.2.2 Les leviers biotechniques de l'atelier maternité retenus dans notre travail : rythme de reproduction et âge au sevrage.....	31
2.2.3 Les leviers biotechniques en conséquence de l'atelier d'engraissement : âge au sevrage et aliment post-sevrage	36
2.3 Objectifs de notre travail	38
3 Travail expérimental.....	40
3.1 Le plan d'action expérimentale	40
3.2 Chapitre 1 : Extensive reproductive rhythm and early weaning improve body condition and fertility of rabbit does	42
3.2.1 Introduction	44
3.2.2 Materials and methods	44
3.2.2.1 Animals and experimental groups	44
3.2.2.2 Body condition	46
3.2.2.3 Reproductive performance	46
3.2.2.4 Data treatment and statistical analysis.....	47
3.2.3 Results	48
3.2.3.1 Body condition and energy balance	48
3.2.3.2 Effect of reproductive rhythm and weaning age on reproductive performance	51
3.2.4 Discussion	52
3.2.4.1 Evolution of body stores during the reproductive cycle	52
3.2.4.2 Influence of reproductive rhythm and weaning age on reproductive performance	53
3.2.4.3 Relationship between nutritional status and fertility	54
3.2.5 Conclusion.....	55
3.3 Chapitre 2 : Fibre and protein requirements of early weaned rabbits and the interaction with weaning age : effects on digestive health and growth performance.....	60
3.3.1 Introduction	62

3.3.2	Material and methods	63
3.3.2.1	Nutritional needs of early weaned rabbits (experiments 1 and 2).....	63
3.3.2.2	Experiment 3 : Influence of age at weaning and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits	66
3.3.3	Results	67
3.3.3.1	Nutritional needs of early weaned rabbits (experiments 1 and 2).....	67
3.3.3.2	Influence of age at weaning and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits (experiment 3)	71
3.3.4	Discussion	73
3.3.4.1	Effect of diet.....	73
3.3.4.2	Effect of early weaning	74
3.3.5	Conclusion.....	75
3.4	<i>Chapitre 3 : Influence du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage sur les performances de reproduction et l'état corporel des lapines pendant 4 cycles de reproduction.....</i>	79
3.4.1	Introduction	79
3.4.2	Matériel et méthodes	80
3.4.2.1	Animaux et schéma expérimental	80
3.4.2.2	Les performances de reproduction des lapines.....	83
3.4.2.3	Evaluation de l'état corporel des lapines.....	85
3.4.2.4	Performances zootechniques des lapereaux	86
3.4.2.5	Analyses statistiques	87
3.4.3	Résultats	87
3.4.3.1	Performances de reproduction des lapines	87
3.4.3.2	Performances zootechniques des lapines et des lapereaux jusqu'au 23 ^{ième} jours de lactation ...	90
3.4.3.3	Efficacité des conduites étudiées.....	95
3.4.3.4	Etat corporel des lapines.....	96
3.4.3.5	Performances zootechniques des lapereaux issus du quatrième sevrage.....	99
3.4.4	Discussion	101
3.4.4.1	Evolution de l'état corporel des femelles au cours des cycles de reproduction.....	101
3.4.4.2	Evolution des performances des femelles au cours des cycles de reproduction.....	102
3.4.4.3	Performances globales des conduites étudiées	103
3.4.5	Conclusion.....	104
4	Discussion générale et perspectives.....	109
4.1	<i>Evaluation du pilotage proposé pour résoudre la problématique</i>	109
4.1.1	Action des leviers « âge au sevrage » et « rythme de reproduction » sur les performances de l'atelier maternité	109
4.1.1.1	Les performances de reproduction des lapines.....	109
4.1.1.2	La sollicitation nutritionnelle et la longévité des lapines	112
4.1.1.3	La relation entre l'état nutritionnel et les performances de reproduction.....	114
4.1.2	Action des leviers choisis dans l'atelier engraissement (âge au sevrage et aliment post-sevrage) sur la santé et la croissance des lapereaux.....	118
4.1.2.1	Les effets sur la santé	118
4.1.2.2	Les effets sur l'ingestion et la croissance	122
4.2	<i>Perspectives pour optimiser la réponse du système d'élevage à la problématique et apports de l'outil systémique</i>	124
4.2.1	Correction du pilotage pour optimiser la réponse à la problématique : perspectives stratégiques.....	124
4.2.1.1	Perspectives d'amélioration de la conduite des femelles.....	120
4.2.1.2	Perspectives pour préserver la santé des lapereaux	127
4.2.2	Les apports de l'outil systémique	131
	Conclusion générale.....	135
	Références bibliographiques.....	137
	Annexe.....	152

Liste des Figures

Figure 1 : Le microscope : une nouvelle manière de voir, de comprendre, d'agir (De Rosnay, 1975).....	13
Figure 2 : La régulation d'un système complexe : l'organisme (d'après Sauvant, 1994).....	17
Figure 3 : La décomposition d'un système complexe en sous-systèmes et en modules dans le cas d'une entreprise (Mélèse, 1982).....	19
Figure 4 : Schéma d'un modèle d'action relatif au fonctionnement d'un système d'élevage (Osty et Landais, 1991)	21
Figure 5 : Modèle conceptuel commun d'un système d'élevage (d'après Gibon et al., 1999b)	22
Figure 6 : Modèle conceptuel général d'un système d'élevage cunicole.....	25
Figure 7 : Représentation de la durée du vide sanitaire avec un rythme de reproduction de 42 jours, un sevrage à 35 jours et une vente à 73 jours	33
Figure 8 : Comparaison entre la conduite témoin (classique) et notre conduite alternative de la reproduction.....	35
Figure 9 : Modèle conceptuel dynamique du fonctionnement des élevages cuniques dans le cadre de la maîtrise de la reproduction.....	38
Figure 10 : Plan d'action expérimentale	40
Figure 11 : Schéma conceptuel dynamique du fonctionnement du système d'élevage cunicole : stratégie de résolution de notre problématique	130
Figure 12 : Trois points de vue du système d'élevage cunicole intégrés dans notre travail (modifié de Landais et Bonnemaire, 1994).	134

Chapitre 1 :

Figure I : Experimental design.....	45
-------------------------------------	----

Chapitre 3 :

Figure I : Représentation des flux de lapines au cours de l'expérience	81
Figure II : Poids des principaux tissus adipeux dissécables en fonction du nombre de sevrages réalisés.....	98

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Performances des élevages cynicoles professionnels en conduite en bande, en 2004 (d'après Lebas, 2005a)	27
Tableau 2 : Influence du rythme de reproduction sur la fertilité et la prolificité des lapines..	111
Tableau 3 : Influence de l'âge au sevrage sur la santé, la croissance et l'ingestion des lapereaux.....	119
Tableau 4 : Contrôle de la morbidité : grille de notation	154
Tableau 5 : Causes de mortalité - grille de notation.....	154

Chapitre 1 :

Table I : Energy balance and evolution of body composition of the does from first kindling to AI	49
Table II : Evolution of body composition of the does between 1 st and 2 nd kindling.....	50
Table III : Reproductive performance of the does at AI and at the 12 th day of pregnancy.....	51
Table IV : Reproductive performance of the does at weaning and at final parturition.....	52

Chapitre 2 :

Table I : Ingredients and chemical composition of the experimental diets of experiments 1, 2 and 3.....	64
Table II : Effect of the dietary fibre level on growth performances of early weaned rabbits (experiment 1).....	68
Table III : Effect of the dietary fibre level on health status of early weaned rabbits (experiment 1).....	69
Table IV : Effect of the dietary protein level on growth performances of early weaned rabbits (experiment 2).....	70
Table V : Effect of the dietary protein level on health status of early weaned rabbits (experiment 2).....	71
Table VI : Effect of early weaning and feeding strategy on growth performances (experiment 3).....	72
Table VII : Effect of early weaning and feeding strategy on health status (experiment 3).....	73

Chapitre 3 :

Tableau I : Planning de l'expérimentation.....	82
--	----

Tableau II : Influence de la conduite de la reproduction sur les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité des lapines	88
Tableau III : Influence de la fertilité des lapines au cours du cycle 2 sur les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité des lapines au cours du cycle 3.....	89
Tableau IV : Evolution intra lot de la fertilité des lapines au cours des cycles de reproduction.....	90
Tableau V : Performances zootechniques des lapines (indépendamment du nombre de sevrages réalisés) et des lapereaux, de la parturition à 23 jours	92
Tableau VI : Performances zootechniques des lapines ayant réalisé 4 sevrages et des lapereaux, de la parturition à 23 jours	94
Tableau VII : Critères globaux renseignant sur l'efficacité des deux conduites étudiées.....	96
Tableau VIII : Evolution des réserves énergétiques des lapines soumises à deux conduites de la reproduction.....	97
Tableau IX : Composition corporelle des lapines à l'abattage.....	98
Tableau X : Poids et croissance des lapereaux	100
Tableau XI : Etat sanitaire des lapereaux	101

Annexe

Annexe 1 : Quelques définitions.....	152
--------------------------------------	-----

Introduction générale

Stimulé par une logique de développement durable, le pilotage des systèmes d'élevage s'oriente vers la recherche d'une performance globale qui associe aux critères économiques classiques (productivité, rentabilité) des critères répondant aux demandes sociétales (bien être animal, qualité sanitaire, sociale et environnementale...). Dans ce contexte, la conduite de la reproduction est un élément clé du système d'élevage. Elle représente la force motrice et la capacité d'adaptation de son processus de production. En effet, la pérennité et la durabilité d'un système d'élevage dépendent de la capacité adaptative des femelles aux contraintes de production (Blanc et al., 2004).

Il existe aujourd'hui dans les élevages cynicoles un renouvellement important du cheptel de lapines reproductrices (110% / an ; Lebas 2005a) qui résulte d'un fort taux de mortalité des femelles (supérieur à 25%) et d'un taux de réforme important en majeure partie en raison d'une fertilité insuffisante et/ou d'un état corporel dégradé (Fortun-Lamothe, 2005). La fertilité est un critère essentiel de réforme car la conduite en bande impose pour être rentable une régularité des performances de reproduction, en dépit de quoi les femelles sont improductives pendant une trop longue période. Toutefois, le taux de mortalité important et la proportion de femelles ayant un état corporel dégradé suggèrent que les conditions de production sont trop intensives. Ceci va à l'encontre d'une demande sociétale en faveur de systèmes d'élevage plus respectueux des animaux.

Parallèlement, les élevages cynicoles sont très fréquemment confrontés à des problèmes sanitaires pendant la période d'engraissement qui entraînent des pertes d'animaux importantes (24% de mortalité entre la naissance et l'abattage ; Lebas 2005a). Les troubles digestifs, dont la fréquence est maximale pendant les deux semaines qui suivent le sevrage, sont la principale cause de ces pertes. Ces difficultés se traduisent par un usage fréquent d'antibiotiques, en contradiction avec les perspectives réglementaires européennes (Journal officiel de l'Union Européenne du 14/03/2003, pp.C61/43 à C61/48).

Ces deux points (taux de renouvellement du cheptel de reproductrices et troubles digestifs chez les lapereaux en croissance) constituent la problématique de ce travail de thèse.

Plusieurs travaux démontrent que les problèmes des femelles reproductrices et des lapereaux après le sevrage ne sont pas indépendants. Les difficultés en engraissement pourraient prendre leur origine avant le sevrage et être en interaction avec la conduite des lapines reproductrices (Pascual, 2001 ; Debray, 2002 ; Castellini et al., 2003). Cependant, à l'heure actuelle, la conduite de la reproduction des lapines et la santé des lapereaux sont le plus

souvent l'objet de travaux dans lesquels ces aspects sont dissociés. Le développement d'une approche globale, intégrant ces deux aspects nous a donc paru nécessaire. De nombreux travaux ont porté sur les effets de l'alimentation pour améliorer la fertilité des lapines reproductrices (synthèse de Pascual et al., 2003). L'ensemble des résultats obtenus montre que la voie alimentaire seule est insuffisante pour résoudre la problématique du renouvellement élevé des femelles reproductrices en élevage. A l'opposé, des études récentes montrent que la conduite de la reproduction est une voie efficace de modulation de l'état corporel des lapines (Castellini et al., 2003 ; Xiccato et al., 2004b). C'est pourquoi, dans le cadre de ce travail nous avons choisi d'étudier les conséquences d'une modification de la conduite de la reproduction sur les performances et l'état corporel des lapines. La précision des besoins nutritionnels du lapereau, qui permet la distribution d'un aliment plus adapté aux besoins, est la voie de recherche privilégiée pour aider à la maîtrise des troubles digestifs chez le jeune en croissance (Gidenne et Fortun-Lamothe, 2002). C'est pourquoi, notre travail de thèse porte également sur la précision des besoins nutritionnels des jeunes lapereaux (en interaction avec les modifications de la conduite de la reproduction étudiée). Nous avons réalisé une approche systémique du fonctionnement des élevages cynicoles afin d'organiser nos connaissances, choisir des leviers d'action et des variables renseignant sur la réponse du système d'élevage à l'action de ces leviers. Enfin cette approche nous a permis de formaliser un plan d'action expérimentale pour résoudre cette problématique pluridisciplinaire (reproduction, nutrition, santé). Cette stratégie aspire à la maîtrise à court terme et à long terme des principaux facteurs agissant sur l'élaboration de la production de viande de lapin, en intégrant des contraintes sociale (organisation du travail), sanitaire (possibilité de réaliser un vide sanitaire) et économique (productivité) à l'échelle du système d'élevage.

Dans ce document, nous introduirons tout d'abord l'approche systémique de manière générale, puis nous nous concentrerons sur la notion de système d'élevage en particulier, pour présenter finalement le système d'élevage cynicole. Cette progression de la théorie des systèmes à son application au système d'élevage cynicole débouchera sur un plan d'action expérimentale.

Notre travail expérimental sera ensuite présenté. Nous évaluerons l'influence d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation sur l'état corporel et les performances de reproduction des lapines. Nous déterminerons en conséquence les effets de l'âge au sevrage et de l'alimentation sur la santé et la croissance des lapereaux.

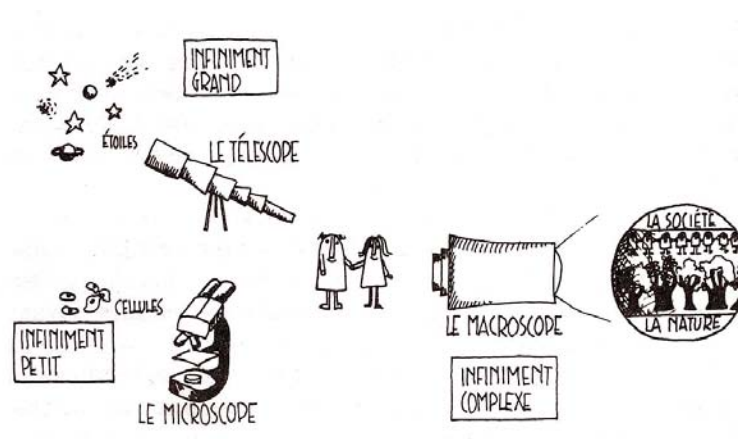
Enfin, nous discuterons des principaux résultats obtenus afin d'envisager des perspectives stratégiques pour optimiser le pilotage du système d'élevage cunicole vers la résolution de notre problématique.

1 L'approche systémique

1.1 Introduction à l'approche systémique

Selon De Rosnay (1975), l'approche systémique est un instrument (nommé symboliquement par l'auteur *le macroscope*) qui facilite la compréhension et l'étude de l'infiniment complexe, comme le microscope l'étude de l'infiniment petit et le télescope celle de l'infiniment grand (Figure 1).

Figure 1: Le macroscope : une nouvelle manière de voir, de comprendre, d'agir (De Rosnay, 1975)



L'approche systémique est une approche globale pluridisciplinaire et pluritechnologique, une méthodologie qui rassemble et organise les connaissances en vue d'une plus grande efficacité de l'action. C'est un outil d'aide à l'observation, la compréhension, et l'action qui facilite l'acquisition de connaissances et l'accroissement du contrôle d'un système et de son environnement (Béranger et Vissac, 1994 ; Mèlèse, 1991). De nombreux auteurs ont défini la notion de « système », nous avons retenu deux définitions explicitant ses caractéristiques essentielles :

-« Ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but » (De Rosnay, 1975).

-« Objet qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité » (Le Moigne, 1977).

1.1.1 Description du système

Selon les deux définitions précédentes, un système est une entité composée de divers éléments reliés entre eux, formant un tout délimité dans l'espace par une frontière avec son environnement. Cette organisation structurelle correspond selon Legay (1996) à *l'anatomie du système*.

Les composants du système sont actifs, ils interagissent, leurs relations correspondent à des flux (de matière, d'énergie, d'information) qui régulent et maintiennent le système dans un état stable, équilibré (stabilité dynamique). Cette organisation fonctionnelle définit selon Legay (1996) *la physiologie du système*. Un système est dynamique et finalisé, il évolue dans le temps et dans son environnement pour répondre à des objectifs. En effet, face aux changements de l'environnement ou aux déséquilibres internes provoqués par l'échec ou la modification des objectifs, un système évolue, il s'adapte pour se maintenir et se pérenniser ou disparaît (Poussin, 1987 ; De Rosnay, 1975). La structure, l'activité et l'évolution sont les trois caractéristiques fondamentales qui décrivent un système (Le Moigne, 1977).

1.1.2 Objectif de l'approche systémique : aborder un système complexe

L'approche systémique prend en compte une réalité dans sa globalité. Elle a pour but de « considérer un système dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique propres » (De Rosnay, 1975).

- La considération d'un système *dans sa totalité*

Un système est un ensemble d'éléments formant une totalité organisée. L'organisation d'un système correspond à l'agencement des relations entre les éléments qui composent le système (Poussin, 1987). Ces éléments constitutifs sont organisés en niveaux hiérarchiques. Par exemple, Sorensen et Kristensen (1994) décrivent la hiérarchie d'un système d'élevage en niveaux (*niveau n+1* : l'exploitation d'élevage de bovins laitiers, *niveau n* : le troupeau de vaches laitières, *niveau n-1* : la vache, *niveau n-2* : un organe, *niveau n-3* : un tissu). Le niveau d'approche dépend strictement des objectifs et de la finalité du système considéré. Les propriétés d'une totalité dépendent des entités qui la composent, et principalement des relations entre ces éléments organisant le système. La considération d'un système dans sa totalité implique non seulement l'étude des interactions entre les entités d'une même échelle de la structure hiérarchique, mais aussi les interactions entre les différentes échelles.

L'organisation structurelle d'un système lui fait bénéficier du principe de non-sommativité : la propriété d'un système est plus que la somme des propriétés des éléments qui le composent. Les relations entre les éléments du système peuvent faire émerger de nouvelles propriétés. Comme le définit Noubel (2004) « le principe d'émergence se manifeste lorsqu'un niveau de complexité émerge, donnant lieu à un système cohérent, différencié, autonome [...] pourvu de propriétés nouvelles, qui transcende et inclut, sans les aliéner, les sous-systèmes du niveau de complexité inférieure ». Par exemple, on connaît les propriétés de chacun des acides aminés qui composent la chaîne des protéines. Mais cette chaîne peut s'enrouler en fonction de l'affinité de certains acides aminés, éloignés dans leur ordre de succession. Cette nouvelle configuration spatiale confère des propriétés émergentes à la protéine : elle reconnaît certaines molécules et catalyse leur transformation, c'est la fonction enzymatique (De Rosnay, 1975). Un autre exemple développé par Deneubourg (1995) illustre cette notion : « individuellement, les insectes sont bêtes, collectivement, ils sont intelligents ». Le système correspond à une société d'insectes (fourmis, abeilles, termites...). L'intelligence collective est construite à partir de nombreuses simplicités individuelles inconscientes de l'ampleur du projet global qui émerge d'un grand nombre d'interactions entre individus ou entre individus et environnement. « A chaque niveau émergent des propriétés nouvelles [...] il y a saut qualitatif ; franchissement d'un seuil : la vie, la pensée réfléchie, la conscience collective » (De Rosnay, 1975).

- La considération d'un système *dans sa complexité*.

Legay (1996) appelle système complexe « un système que la perte d'un de ses éléments fait changer de nature et à qui, à la limite, elle fait perdre sa qualité de complexe ». Selon l'auteur, « la complexité est une décision », car c'est au moment où l'on précise l'univers de travail, la frontière du système, que sa complexité est définie. Selon De Rosnay (1975), un système complexe est constitué :

- d'une grande variété de composants ou d'éléments
- d'éléments organisés en niveaux hiérarchiques internes
- de différents niveaux et éléments individuels reliés par une grande variété de liaisons (haute densité d'interconnexions)
- d'interactions non linéaires entre les éléments

« La complexité [...] apparaît donc comme l'incapacité de décrire tout le système et de déduire son comportement à partir de la connaissance du comportement de ses parties », Mèlèse (1991).

- La considération d'un système *dans sa dynamique*.

La dynamique d'un système complexe résulte d'une combinaison entre les boucles de rétroaction, les variables qui réalisent une opération, appelées variables d'action ou de flux, et les variables qui renseignent sur le résultat de l'action, qualifiées d'essentielles, d'état ou d'accumulation (Mélèse, 1991 ; Salini, 2003 ; De Rosnay, 1975). Les boucles de rétroaction permettent les régulations, interviennent sur les entrées du système, à partir de données recueillies à sa sortie. Elles informent les décideurs de ce qui se passe en aval du système et donc leur permettent de prendre les décisions en connaissance de cause (Durand, 1979). Si ces nouvelles données agissent dans le même sens que les résultats précédents, il s'agit d'une boucle de rétroaction positive. Dans le cas contraire, la rétroaction est qualifiée de négative (stabilisation du système). Le concept de boucle de rétroaction est l'une des bases fondamentales de la science des systèmes : la cybernétique (issue du grec « kubernéतिकé » ou « art du pilotage », Wiener, 1961).

La rétroaction négative : un système possède un équilibre interne dynamique. Il réagit à toute modification (perturbation extérieure ou intérieure) en se stabilisant par auto-régulation pour maintenir son équilibre dynamique propre. La stabilité dynamique du système (ou cinématique selon Le Moigne, 1977) résulte de boucles de rétroactions négatives (exemple : l'homéostasie). Les rétroactions négatives convergent vers un but : c'est *la dynamique du maintien* (De Rosnay, 1975).

La rétroaction positive : un système interagit avec son environnement, sa frontière est perméable. Les entrées résultent de l'influence de l'environnement sur le système et les sorties de l'action du système sur l'environnement. En effet, un système est inféodé à son environnement car il est sa source d'évolution et d'adaptation. L'environnement exerce son pouvoir de sélection en perturbant l'homéostasie des systèmes, en les forçant à s'adapter et à évoluer. L'évolution d'un système repose sur les boucles de rétroaction positive, c'est *la dynamique du changement* (De Rosnay, 1975). Selon l'auteur, les rétroactions positives entraînent un accroissement des divergences. Elles amplifient le moindre écart, accroissent les possibilités d'interactions et la variété, permettant ainsi de présenter un large panel de réponses et donc de s'adapter aux différentes agressions potentielles de l'environnement.

En résumé c'est la régulation du système (sa dynamique) qui assure sa survie et sa pérennité. Un système complexe possède une histoire. Son état actuel dépend de ses états antérieurs (Ricard, 2003).

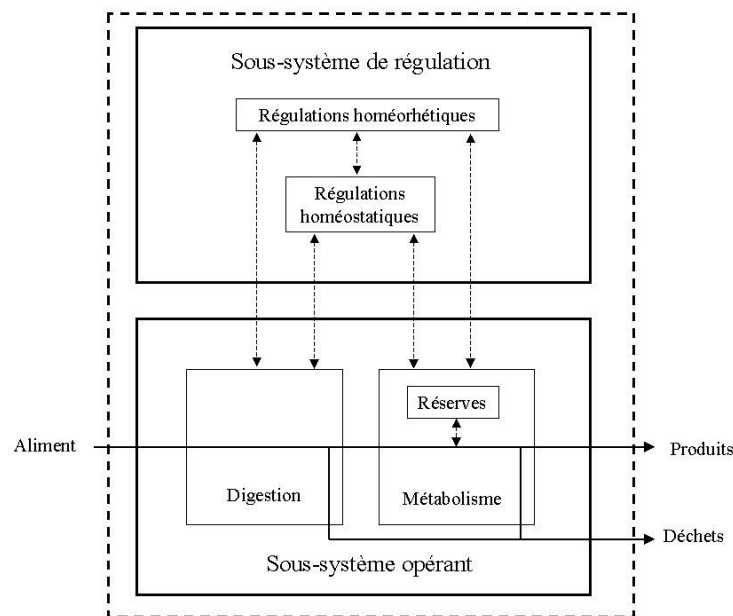
Exemple de la régulation d'un système complexe : un organisme animal

Dans une approche systémique de la nutrition, Sauvants (1994) représente l'organisme comme un système résultant de l'articulation de deux sous-systèmes (Figure 2) :

- Le sous-système opérant : sous système fonctionnel et de stockage, dans lequel deux compartiments (digestif et métabolique) sont considérés.
- Le sous-système régulateur : sous-système décisionnel qui pilote le sous-système opérant par l'intermédiaire d'un réseau informationnel (système hormonal, ...).

Un organisme animal est un système complexe ayant une double finalité : la survie de l'organisme (court terme) et la pérennité de son espèce (long terme). Les régulations homéostatiques assurent la survie de l'organisme. Elles garantissent le maintien de l'équilibre physiologique, c'est-à-dire la stabilité de l'environnement interne. Les régulations homéorhétiques ou téléophrétiques assurent la pérennité de l'espèce. Elles coordonnent et hiérarchisent les principales voies métaboliques afin de soutenir les fonctions de reproduction (gestation, lactation, croissance pour atteindre le stade reproducteur, ...).

Figure 2 : La régulation d'un système complexe : l'organisme (d'après Sauvants, 1994)



Les régulations homéostatiques et homéorhétiques interagissent. Comme le soulignent Bauman et Currie (1980), si un défi environnemental (comme une période de sous-nutrition) est d'une ampleur suffisante, les régulations homéostatiques pour la survie de l'individu deviennent prioritaires par rapport aux régulations homéorhétiques soutenant une fonction

physiologique. Les processus de régulations du métabolisme énergétique peuvent ainsi intervenir sur la fonction de reproduction. Les situations de rupture d'équilibre homéostatique révèlent les limites des capacités adaptatives des animaux (Blanc et al., 2004).

1.1.3 Comparaison avec l'approche analytique

La considération de la relation entre le système et son environnement et des propriétés émergentes (issues des relations entre les éléments du système) sont les deux principales différences entre l'approche systémique et l'approche analytique. En effet, contrairement à la systémique, la démarche analytique selon la méthode cartésienne vise à *diviser chacune des difficultés en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre*. Cette analyse, cette décomposition, est devenue synonyme de la méthode (Le Moigne, 1977). Cette démarche sectorielle a été à l'origine du développement des sciences (Gras et al., 1989). Ces derniers, observent que la synthèse de connaissances élémentaires ne restitue pas toujours bien la réalité, ne permet pas de prévoir les propriétés émergentes. De plus, l'élaboration de la connaissance dans une démarche systémique insiste sur les relations et les interactions du système avec son environnement. D'après Watzlawick et al. (1972) : « Un phénomène demeure incompréhensible tant que le champ d'observation n'est pas suffisamment large pour qu'y soit inclus le contexte dans lequel ledit phénomène se produit. Ne pas pouvoir saisir la complexité des relations entre un fait et le cadre dans lequel il s'insère, entre un organisme et son milieu, fait que l'observateur bute sur quelque chose de "mystérieux" et se trouve conduit à attribuer à l'objet de son étude des propriétés que peut-être il ne possède pas ». L'approche analytique née de la démarche cartésienne et l'approche systémique issue de la cybernétique et de la théorie des systèmes ne s'opposent pas, elles se complètent (De Rosnay, 1975).

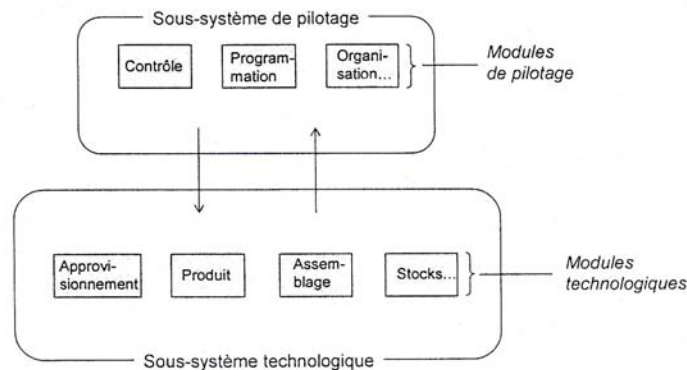
1.2 Analyse des systèmes, représentation et exemple : le système d'élevage

1.2.1 Analyse et représentation des systèmes

L'utilisation de modèles s'impose pour appréhender la complexité et l'interdépendance. Les modèles visent à considérer les principaux éléments d'un système afin de les réunir et de mettre en évidence le mieux possible leur interdépendance, pour émettre des hypothèses sur le fonctionnement, le comportement du système. Un modèle est une construction symbolique (graphique, mathématique ou informatique) intégrant les propriétés, structures et fonctionnalités du système étudié (Sauvant, 2004).

Pour analyser un système, il faut le décomposer, mais pas *en autant de parcelles qu'il se pourrait* de manière systématique ou exhaustive selon la démarche cartésienne, mais à un niveau fonctionnel, par rapport aux fonctions remplies dans le système. En effet, tout modèle systémique s'organise par la mise en relation d'un système opérant (ou technologique) et d'un système de décision (ou de pilotage), par l'intermédiaire d'un système d'information (Le Moigne, 1977, Mèlèse, 1991, Béranger et Vissac, 1994). **Le niveau de décomposition dépend du point de vue et des objectifs de l'étude**, car il dévoile *la maille élémentaire de l'analyse* que Mèlèse appelle *module* (Figure 3).

Figure 3 : La décomposition d'un système complexe en sous-systèmes et en modules dans le cas d'une entreprise (Mèlèse, 1982)



La décomposition d'un système permet ainsi d'éclairer le choix du niveau d'analyse (Gras et al., 1989). Les auteurs illustrent cette notion de l'exemple suivant : l'analyse de la production de lait d'une ferme nécessite de considérer le troupeau et les surfaces indispensables à son alimentation comme deux sous-systèmes de la ferme. Dans ce cas, la

description du troupeau se limite au minimum de détails utiles à la compréhension de la production de lait. Par contre, si l'objectif de l'étude s'oriente sur les performances du troupeau, celui-ci devient un système à décomposer en sous système ou éléments, car il nécessite une description plus détaillée.

L'appréhension de la complexité d'un système est donc finalisée. Chaque partie du système doit atteindre un ou plusieurs objectifs. Et les activités de pilotage ont pour but de guider chacune de ces parties du système vers ses objectifs (Mélèse, 1991). Le pilotage d'un système permet ainsi d'accroître la maîtrise de son évolution dans le temps c'est-à-dire de *ses dynamiques propres*. Piloter, pour Mélèse (1968) « c'est choisir un objectif, définir la meilleure trajectoire, lancer l'engin puis corriger en permanence ses écarts par rapport à la trajectoire ; éventuellement c'est modifier en cours de route la trajectoire, ou même l'objectif, lorsque des informations sur l'état de l'univers extérieur et sur le comportement de l'engin montrent que le plan initial ne peut être maintenu ». Par exemple : l'agriculteur pilote le pâturage des vaches laitières en s'adaptant aux différences de pousse de l'herbe, d'accessibilité des parcelles ou de comportements des animaux, soumis aux événements climatiques (Mathieu et Fiorelli, 1990). L'appréciation, l'intégration puis l'interprétation des performances du système par le pilote conditionnent ses décisions de modification de trajectoire, d'objectif.

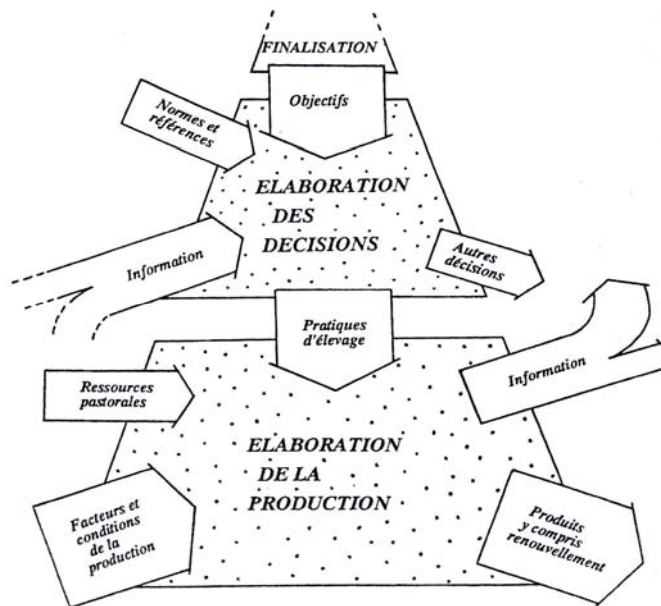
1.2.2 Le système d'élevage

Le système d'élevage est la description par application de *la théorie du système général* (Le Moigne, 1977) ou l'observation par *le Macroscopie* (De Rosnay, 1975) d'une activité d'élevage dans l'exploitation agricole. Cet ensemble d'éléments qui intervient dans l'élaboration de la production animale de l'exploitation possède les qualités essentielles d'un système complexe (Gibon et al., 1987 ; Sorensen et Kristensen, 1994). Selon Landais (1987), c'est « un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour obtenir des productions variées (lait, viande, laine, travail, fumure) ou pour répondre à d'autres objectifs ». Un système d'élevage est un système dynamique finalisé et piloté, dans lequel l'éleveur, ses prises de décisions et son activité sur l'ensemble des ateliers de productions animales sont centrales (Meuret et Landais 1996). Menjon et d'Orgeval (1983), considèrent un atelier comme un « ensemble constitué par un troupeau homogène et son milieu

d'élevage ; les animaux fournissent un produit de même nature et sont conduits de la même façon ». Ce terme désigne un sous système caractérisé par un mode de conduite et un type de production particulier. Par exemple, en élevage cunicole, deux ateliers peuvent être considérés : l'atelier de reproduction, appelé aussi « maternité », constitué du troupeau de femelles reproductrices, et l'atelier d'engraissement, constitué des lapereaux sevrés, élevés jusqu'à leur vente. Suivant les cas, d'autres ateliers correspondant à l'élevage des femelles de renouvellement avant la mise à la reproduction ou le troupeau de mâles (si saillie naturelle), peuvent être inclus.

Dans le cadre des systèmes d'exploitation pastorale, Osty et Landais (1991) ont proposé la représentation d'un système d'élevage comme l'articulation d'un sous-système d'élaboration de la décision (l'éleveur) et d'un sous système d'élaboration de la production (le troupeau). Ce couplage représente un modèle d'action relatif au fonctionnement d'un système d'élevage (Figure 4).

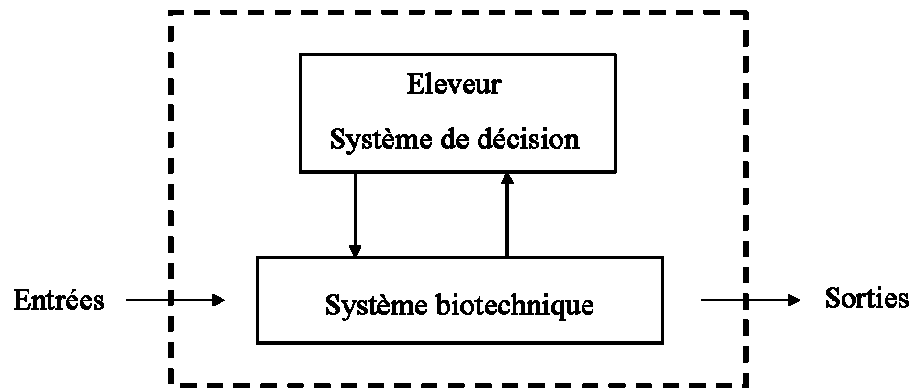
Figure 4 : Schéma d'un modèle d'action relatif au fonctionnement d'un système d'élevage (Osty et Landais, 1991)



A partir d'une réflexion collective, les chercheurs européens travaillant sur les systèmes d'élevage, ont validé un modèle conceptuel général, une base commune pour appréhender les systèmes d'élevage, quelle que soit l'espèce animale ou la discipline considérée (Figure 5 ; Gibon et al., 1999b). Dans ce modèle, l'éleveur est le sous système décisionnel. Il pilote, maîtrise l'évolution du système en agissant sur le sous système

biotechnique (opérant) qui assure la transformation physique des flux d'entrée en flux de sortie (Revilla et Gibon, 1992). Cette transformation est réalisée par l'échange d'informations entre ces deux composants, qui est matérialisé par des flux dans la Figure 5, et qui correspondent au sous système d'information de *la théorie du système général* (Le Moigne, 1977). Ces flux d'informations s'effectuent dans le sens ascendant « sous système biotechnique / sous système décisionnel » (exemple : les performances de reproduction, l'état sanitaire de l'élevage) et dans le sens descendant « sous système décisionnel / sous système biotechnique » (exemple : les pratiques d'élevage).

Figure 5 : Modèle conceptuel commun d'un système d'élevage (d'après Gibon et al., 1999b)



Les pratiques d'élevage concrétisent les décisions de l'éleveur et mettent en jeu des leviers de pilotage du système biotechnique. Ces leviers sont également qualifiés de variables d'action ou de flux (confère 1.1.2). Par analogie à une entreprise industrielle, piloter un système d'élevage correspond à maîtriser trois types de savoir « savoir-faire, savoir-comprendre, savoir-combiner » (Hatchuel et Weil, 1992). Nous allons appliquer ce modèle conceptuel générique au système d'élevage cynicole.

En conclusion, l'approche systémique permet d'aborder un système dans sa globalité et sa complexité. Un système d'élevage comprend un système élaborant la production (le système biotechnique) et un système décisionnel (l'éleveur), reliés par des flux d'information.

2 Le système d'élevage cunicole

2.1 Présentation générale du système d'élevage cunicole et de notre problématique

2.1.1 Présentation et représentation générale du système d'élevage cunicole

L'objectif d'un système d'élevage cunicole est de transformer des matières premières alimentaires végétales peu ou pas consommées par l'homme en lapins. Les lapins produits sont valorisés principalement pour leur viande (exemple : race Californien ou Néo-Zélandais), mais également pour leur fourrure (race Rex), leurs poils (race Angora), ou leur compagnie (exemple : race Nain Himalaya ou Chinchilla). Notre travail se focalisera sur la production de lapins de chair. Dans le cadre de la production de viande, le lapin est économiquement très intéressant pour 1/ son efficacité importante en tant qu'herbivore à convertir les protéines contenues dans les plantes riches en cellulose inutilisables par l'homme, en protéines animales de haute qualité nutritionnelle et 2/ sa prolificité. Lebas et al. (1996) constatent que le lapin peut fixer jusqu'à 20 % des protéines alimentaires absorbées sous forme de viande comestible. Ce chiffre est de 16 à 18 % chez le porc et de 8 à 12 % pour la production de viande bovine, en fonction du système de production. Seul le poulet à une capacité de transformation supérieure, 22 à 23 %, mais à partir d'aliments plus riche en céréales ou tourteaux de protéagineux (potentiellement consommables par l'homme) par rapport aux aliments distribués aux lapins. La prolificité légendaire de la lapine s'illustre aisément par quelques caractéristiques. Le lapin est une espèce polytoque ayant une durée de gestation de 31 jours. La lapine atteint sa maturité sexuelle rapidement (10-12 semaines ; Lebas, 2000) et ne présente pas de cycle œstrien. Elle est considérée comme une femelle en œstrus plus ou moins permanent, et ne présente pas d'œstrus post-partum, ni d'œstrus de lactation. Cependant, contrairement à la femelle du lièvre (la hase), la lapine ne peut pas réaliser deux gestations simultanées à deux stades différents de développement (phénomène de superfœtation ; Lebas, 1996). L'ovulation de la lapine est provoquée par l'accouplement (le coït), ou induite par une injection de GnRH (Gonadotrophin Releasing hormone) dans les élevages pratiquant l'insémination artificielle. Ces deux caractéristiques (ovulation provoquée et absence d'œstrus de lactation) font qu'en élevage cunicole c'est l'éleveur qui décide du rythme de reproduction imposé aux lapines. Cependant, certaines lapines refusent l'accouplement ou sont infertiles à des périodes dont le moment et la durée sont variables (Beyer et Mac Donald, 1973 ; Lebas, 2000). Les mécanismes physiologiques impliqués dans ce phénomène reste très mal connus. Pour limiter ce problème, des hormones d'induction et

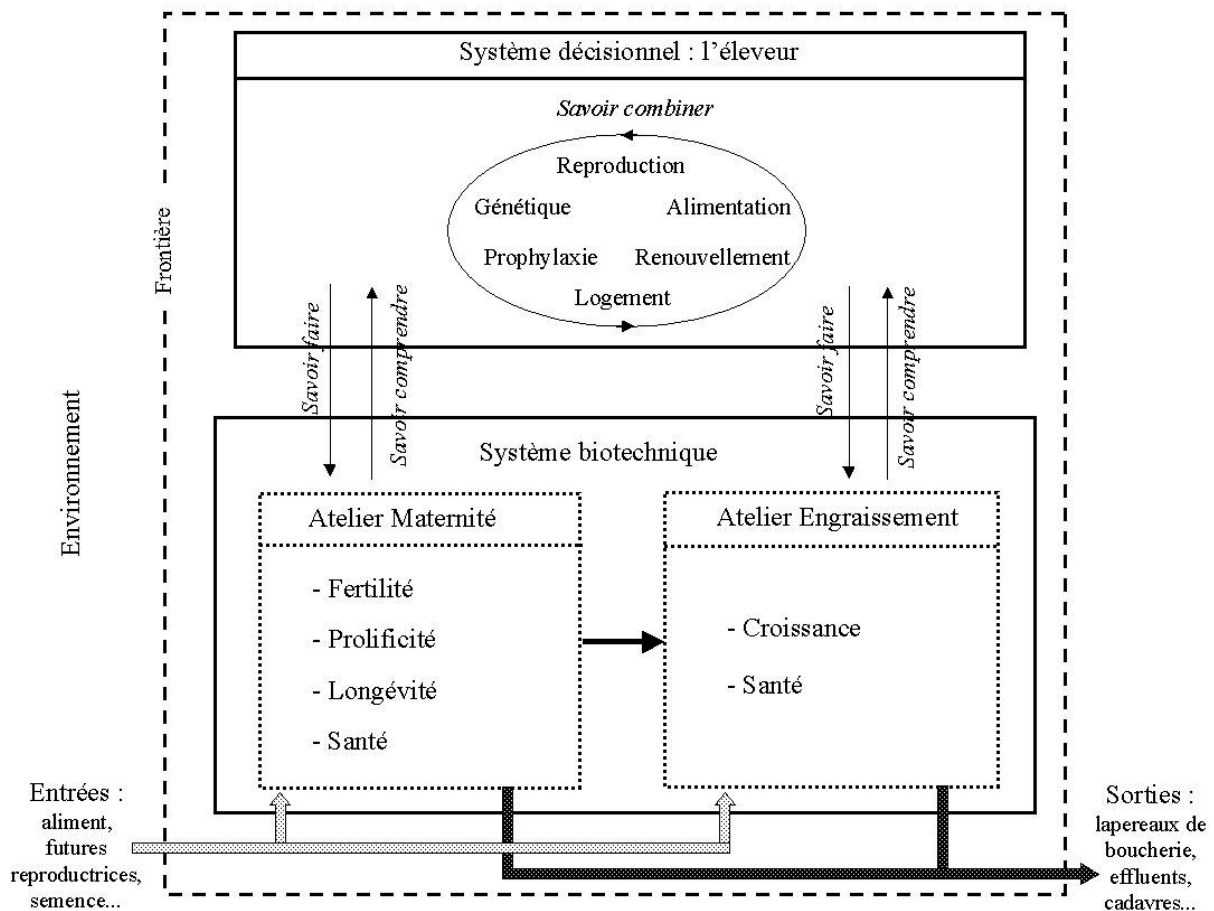
de synchronisation de l'œstrus peuvent être utilisées : des prostaglandines (effet lutéolytique) ou de la PMSG (Pregnant Mare Serum Gonadotrophin qui favorise la maturation folliculaire par son activité majeure de type FSH ; Theau-Clément, 2001). La moyenne des tailles de portée est de 10 lapereaux à la naissance, ce qui permet d'obtenir jusqu'à 65 petits par femelle et par an, dans les conditions classiques d'élevage (rythme de reproduction de 42 jours, Tableau 1, p27). Une lapine peut allaiter jusqu'à 6-7 semaines d'âge. Toutefois, en élevage, c'est l'éleveur qui réalise le sevrage des lapereaux par séparation de la mère et de sa portée. Classiquement, le sevrage est réalisé à 35 jours de lactation.

Dans la plupart des cas (66%), la production cunicole représente une part majoritaire du chiffre d'affaire de l'exploitation agricole (Azard, 2006). Dans ce travail, nous considérerons que l'élevage cunicole est une activité unique au sein de l'exploitation agricole qui n'est pas couplée à d'autres productions animales ou végétales. Le système d'élevage cunicole est un système d'élevage hors sol dont la productivité dépend principalement des performances de reproduction de la lapine (fertilité et prolificité) et de la croissance et de la santé des lapereaux (Castellini et al., 2003). Nous décomposerons donc le système biotechnique en deux ateliers : l'atelier maternité et l'atelier engraissement. L'ensemble des femelles reproductrices sont conduites dans l'atelier maternité pour produire des lapereaux qui quittent cet atelier au sevrage. Ces animaux alimentent ensuite l'atelier d'engraissement où ils sont élevés et engraisés jusqu'à l'âge d'abattage. Dans ce travail nous ne considérerons pas d'atelier correspondant à l'élevage des femelles de renouvellement avant la mise à la reproduction. Ces femelles font donc partie des entrées du système ainsi que par exemple, la semence pour les inséminations artificielles, l'aliment des reproductrices, l'eau, l'aliment de finition des lapins en engraissement... Les sorties correspondent à la vente de lapins engraisés, des lapines de réformes (en moindre proportion), aux animaux morts, aux effluents...

Nous limiterons donc notre étude du fonctionnement du système d'élevage cunicole à la conduite des ateliers maternité et engraissement. Les variables d'état considérées concernent la fertilité, la prolificité, la longévité et la santé dans l'atelier maternité et la croissance et la santé dans l'atelier engraissement (Annexe 1). Ces variables renseignent sur la réponse du système biotechnique au pilotage du système décisionnel et peuvent être étudiées à différentes échelles temporelles (un cycle de reproduction, un an...). L'éleveur incarne la composante décisionnelle, il décide et agit sur le système biotechnique pour atteindre ses objectifs dans un environnement donné. Pour manager et élaborer les performances des ateliers maternité et engraissement, l'éleveur pilote à partir de 6 postes de conduite qu'il doit

savoir-combiner (Figure 6) : l'alimentation, la reproduction, la génétique, le renouvellement, le logement, et la prophylaxie (ensemble des mesures médicales et hygiéniques visant à prévenir, limiter le développement, ou faire disparaître une maladie). Son **savoir-faire** lui permet d'agir sur les leviers biotechniques pour convertir les flux d'entrée du système en flux de sortie. Son **savoir-comprendre** lui permet de lire et d'intégrer la réponse des variables d'état afin de corriger son pilotage en fonction de ses objectifs.

Figure 6 : Modèle conceptuel général d'un système d'élevage cynicole



L'environnement du système influence la stratégie d'élaboration de la production, et donc les moyens d'accéder à la performance souhaitée. Par exemple : depuis le 1er janvier 2006, l'utilisation des antibiotiques comme facteurs de croissance dans l'alimentation des animaux d'élevage est totalement interdite en Europe (journal officiel de l'Union Européenne du 9/03/2005, pp. L62/22 à L62/29). Cette interdiction fait suite à l'expérience de la Suède qui a montré que les modifications de procédure, sans sacrifice de productivité, peuvent réduire l'utilisation d'antibiotiques comme additifs dans l'alimentation animale (Wierup,

1998). Ce pays a interdit depuis 1986 l'administration des antibactériens comme facteurs de croissance. Dès aujourd'hui, d'autres mesures sont à anticiper. Le Comité Economique et Social Européen consulté par le Conseil de l'Union européenne a donné également un avis, dans le journal officiel de l'Union Européenne du 14/03/2003, (pp.C61/43 à C61/48), « d'un strict contrôle de l'utilisation thérapeutique des antibiotiques [...] qui ne devraient être utilisés que pour guérir des animaux malades ». Il est donc important, d'anticiper une probable limitation future de l'usage des traitements antibiotiques à des fins préventives. Les anticipations réglementaires s'inscrivent dans une démarche durable de pilotage d'un système d'élevage, pour garantir la qualité des produits alimentaires d'origine animale.

2.1.2 La problématique

La filière cunicole a connu une forte rationalisation technique depuis les années 1970, particulièrement avec l'introduction de la conduite en bande et de l'insémination artificielle. Dans ce système de production, les femelles appartenant à une même bande suivent un cycle de reproduction synchronisé. Elles sont toutes inséminées ou sevrées le même jour. Cette optimisation des techniques d'élevage associée à l'amélioration génétique des animaux et de l'alimentation a fortement contribué à accroître les performances du système d'élevage cunicole. Cependant, ces performances sont irrégulières et **le taux de renouvellement du cheptel de reproductrices est jugé excessif** (taux de renouvellement >100% par an, Tableau 1). Il résulte d'un fort taux de mortalité des femelles (supérieur à 25%) et d'un taux de réforme important issu d'une **fertilité insuffisante** et/ou d'une aptitude à élever les lapereaux estimée insuffisante. Ces femelles qui sortent du système d'élevage présentent généralement **un état corporel dégradé** (Fortun-Lamothe, 2005).

Le fort taux de renouvellement augmente la proportion des jeunes femelles parmi l'atelier des femelles reproductrices. Or, ces problèmes (fertilité, état corporel) se rencontrent principalement pendant les premiers cycles productifs des lapines, alors que le coût de ces reproducteurs n'a pas été encore amorti (Sanchez, 2004). Il est donc essentiel d'améliorer la régularité des performances de reproduction et la longévité des femelles reproductrices. La maîtrise de la reproduction est un élément clé pour surmonter ces difficultés.

Tableau 1 : Performances des élevages cynicoles professionnels en conduite en bande, en 2004 (d'après Lebas, 2005a)

Nombre de cages mères par élevage	473
Renouvellement annuel des femelles (%)	108
Mortalité des femelles (sur total femelles sorties, %)	28
Fertilité (Taux de mises bas / insémination, %)	79
Intervalle entre 2 mises bas * / femelle (j)	55,6
Nombre de mise bas / femelle / an	6,6
Nb lapereaux nés totaux / mise bas	10,0
Nb lapereaux totaux / femelle / an	65,1
Nb de lapereaux produits / carrière de femelle	44
Mortalité naissance-sevrage (%)	15,6
Mortalité sevrage-vente (%)	9,4
Mortalité naissance-vente (%)	24
Age moyen des lapins à la vente (j)	73,6
Marge /coût alimentaire / femelle / an (€)	108

* Intervalle de 42 jours entre 2 inséminations

L'atelier d'engraissement est alimenté par les lapereaux sevrés issus de l'atelier maternité. Les performances obtenues dans l'atelier maternité influencent celles de l'atelier d'engraissement et des répercussions sanitaires sont également inévitables. En effet, l'influence de la mère est déterminante pour la survie et la croissance des jeunes lapereaux (Garreau et De Rochambeau, 2003). Le lapin est un animal craintif et inquiet, il naît avec une faible maturité (1/100^e de son poids adulte), il est de ce fait fragile au début de sa vie (Lebas et al., 1991). Plus tardivement, la fragilité du lapereau autour du sevrage, résulte de l'évolution de la production, de son intensification, qui a fait émerger de nouvelles pathologies (entéropathies) affectant la « santé digestive » des lapereaux (Bennegadi, 2002). **Les pathologies digestives sont la principale cause de morbidité et de mortalité des lapins en croissance.** Le signe clinique le plus fréquent est la diarrhée. Elle est présente dans plus de 95% des cas de troubles digestifs et représente une perte économique importante (Licois, 2004). L'alimentation est une voie privilégiée pour maîtriser ces pathologies, car le délai d'action peut être rapide et le coût faible par rapport à une approche génétique ou médicamenteuse (Feugier, 2003). **La difficulté de maîtrise des problèmes sanitaires**

entraîne des taux de mortalité importants (>24% entre la naissance et la vente, Tableau 1), et un emploi des antibiotiques trop fréquent.

Une approche globale, systémique, qui étudie les relations entre les pratiques d'élevage en maternité et les performances en engraissement est donc nécessaire et pertinente pour aborder cette problématique pluridisciplinaire.

Dans le cadre de ce travail de thèse, **l'approche systémique est tout d'abord l'outil que nous avons choisi pour organiser nos connaissances** dans un modèle conceptuel général du système d'élevage cunicole (Figure 6). A partir de cette première organisation des connaissances autour des éléments du système et de leurs relations, **nous allons choisir des leviers d'action et formaliser une stratégie** grâce à un modèle conceptuel du fonctionnement des élevages cunicoles orienté vers la résolution de notre problématique. Cette représentation dynamique des éléments clés du système et de leurs relations nous permettra de piloter le système d'élevage cunicole vers nos objectifs. A partir de ce modèle graphique, **nous élaborerons un plan d'action expérimentale pour apprécier la réponse biologique du système biotechnique**, c'est-à-dire l'évolution de l'état du système (variables d'état) sous l'action des leviers choisis.

2.2 Choix des leviers biotechniques pilotant le système d'élevage cunicole vers la résolution de notre problématique

Les activités de pilotage d'un système ont pour but de guider chacune de ses parties vers ses objectifs (Mélèse, 1991). Notre pilotage du système d'élevage aura donc pour objectifs : 1/ d'augmenter la longévité des lapines reproductrices et 2/ de réduire la fréquence des troubles digestifs chez les lapereaux après le sevrage. Nous avons pour objectif dans le cadre de ce travail, de résoudre notre problématique, en excluant l'usage de traitements antibiotiques à des fins préventives.

2.2.1 Les leviers biotechniques possibles de l'atelier maternité

Dans la majorité des élevages cunicoles actuels, les lapines sont inséminées alors qu'elles allaitent la portée précédente (insémination 11 jours après la mise bas). En conséquence, la gestation et lactation sont superposées pendant plus de la moitié du cycle de reproduction ce qui entraîne des besoins nutritionnels difficiles à satisfaire, et une mobilisation importante des réserves corporelles. Dans ce contexte, des effets néfastes sur les performances de reproduction (taux d'ovulation, de gestation, viabilité et croissance fœtale) sont observés. La forte demande nutritionnelle et les modifications hormonales (prolactine/ocytocine) liés à la production laitière semblent être les principaux facteurs impliqués dans ces effets (Theau-Clément et Roustan, 1992 ; Fortun-Lamothe et Bolet, 1995 ; Bolet, 1998 ; Fortun-Lamothe et Prunier, 1999 ; Fortun-Lamothe, 2005).

L'apparition d'un déficit énergétique intense pendant la lactation a été largement démontrée à la fois chez les femelles primipares et les femelles multipares (Xiccato, 1996 ; Parigi-bini et Xiccato, 1998 ; Partridge et al., 1986 ; Pascual, 2001 ; Pascual et al., 2003 ; Fortun-Lamothe, 2005). Ce déficit énergétique engendré principalement par la production de lait explique une grande partie des problèmes de fertilité et d'état corporel insuffisant et donc de longévité des femelles en élevage cunicole (Fortun-Lamothe, 2005). De plus, chez les femelles simultanément gestantes et allaitantes, les besoins nutritionnels associés à la production laitière et à la croissance fœtale s'additionnent (Parigi-bini et al., 1992). Plusieurs stratégies, impliquant des leviers divers et variés sont à disposition du système décisionnel dans l'atelier maternité pour agir dans le cadre de la problématique. Le choix peut se porter sur une stratégie d'augmentation des apports nutritionnels (alimentation, capacité d'ingestion et sélection génétique) ou de diminution des besoins (la conduite de la reproduction).

L'alimentation et la génétique

Les apports énergétiques dépendent de l'énergie apportée par l'aliment et de la capacité d'ingestion de l'animal. Une augmentation de la teneur en énergie de l'aliment a déjà fait l'objet de nombreux travaux (synthèse de Pascual et al., 2003), et ne permet pas de résoudre totalement les problèmes liés au déficit énergétique des femelles. Ainsi, elle est insuffisante pour réduire le déficit énergétique en maintenant les performances de l'atelier maternité. En effet, le déficit énergétique et la mobilisation corporelle des femelles sont à l'image de la production laitière : plus importants lorsque la production laitière est stimulée,

notamment lorsque l'aliment est enrichi en matières grasses, plus faibles lorsqu'elle est réduite, par exemple lorsque la teneur en amidon de l'aliment est élevé (Pascual et al., 2003). Cependant, dans ce dernier cas, l'effet positif sur les femelles est préjudiciable à la préparation nutritionnelle des jeunes avant le sevrage et à leur santé ultérieure (Gidenne et Fortun-Lamothe, 2002). Fortun-Lamothe (2003) préconise donc un aliment riche en énergie sous forme d'amidon en début de lactation (0-18j) et en fin de lactation, un aliment énergétique dans lequel l'énergie est d'origine lipidique, et plus riche en fibres (mieux adapté pour les lapereaux). Cependant, l'ingestion d'énergie reste insuffisante car elle est limitée par la capacité d'ingestion de la femelle.

La capacité d'ingestion de la lapine dépend essentiellement de sa parité (primipares < multipares) et de son format, donc de son génotype. Fortun-Lamothe et Bolet (1998), comparant deux génotypes, observent une capacité d'ingestion accrue (+11%) chez les femelles de la souche la plus lourde (+10%). Dans la perspective de réduction du déficit nutritionnel par la sélection génétique, De Rochambeau (2000) a donc ajouté le critère du poids de la femelle à 63 jours à l'objectif de sélection de la lignée parentale femelle A1077 pour prendre en compte la contrainte du format de la souche (initialement sélectionnée pour sa prolificité et son aptitude laitière). Cependant, les conséquences de l'introduction de ce nouveau critère restent à évaluer, à la fois sur la capacité d'ingestion, mais également sur les performances de reproduction.

En résumé, la voie alimentaire est insuffisante pour résoudre à elle seule la problématique de l'atelier maternité. La voie génétique est en cours d'étude et nécessite un délai de réponse important.

La conduite de la reproduction

Dans le système d'élevage cunicole (Fortun-Lamothe, 1994 ; Castellini et al., 2003), comme dans les systèmes d'élevage porcin (Quesnel et al., 2005 ; Rodriguez-Zas et al., 2003), ou de ruminants (ovin : Girard et Lasseur, 1997 ; Cournot, 2001, bovin : Werth et al., 1991, Firk et al., 2002, Veysset et al., 2005, caprin : Fonseca et al., 2005), la conduite de la reproduction est un élément de base du fonctionnement, de l'organisation de la production, et donc des performances du système. Blanc et al. (2004) illustrent très clairement l'importance de la capacité des femelles à s'adapter aux contraintes du milieu d'élevage et à l'enchaînement des cycles de production sur la pérennité et la durabilité du système d'élevage. Comme le souligne Fortun-Lamothe (2003), une modification de la conduite de la reproduction pourrait être un moyen efficace pour limiter la sollicitation nutritionnelle des

jeunes lapines reproductrices. L'action combinée du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage pourrait permettre de limiter la durée de la superposition entre la gestation et la lactation. Le rythme de reproduction est déterminé par le délai entre la parturition et l'insémination suivante. L'âge au sevrage détermine la durée de la lactation. Actuellement pour réduire la sollicitation nutritionnelle des lapines primipares, la majorité des éleveurs ne limite pas la durée, mais l'intensité de la lactation en réduisant la taille de la portée. Cependant, la réduction de la production laitière est faible, par rapport à la diminution de la taille de portée. Une réduction de 25% (de 8 à 6 lapereaux présents par portée) ou de 60% (de 10 à 4 lapereaux présents par portée) ne réduit la production de lait que de 7% et 13% respectivement (Castellini et al., 2003 ; Fortun-Lamothe, 1994). Cette technique est intéressante, mais son efficacité pour réduire la sollicitation nutritionnelle des lapines est insuffisante.

2.2.2 Les leviers biotechniques de l'atelier maternité retenus dans notre travail : rythme de reproduction et âge au sevrage

L'aptitude à la reproduction des lapines est variable. Elle est maximale après la parturition, minimale 3-5 jours après (Fortun-Lamothe et Bolet, 1995), puis augmente progressivement pendant la lactation (Theau-Clément et al., 2000, Theau-Clément et Fortun-Lamothe, 2005), pour atteindre un nouveau pic après le sevrage (Theau-Clément et al., 1990). Dans le cas d'une insémination post-partum, le rythme de reproduction est minimum, il est réduit à la durée de la gestation : 31 jours. Ce rythme de reproduction intensif conduit à une diminution de la fertilité, de la taille de portée, et de la durée de vie productive des lapines (augmentation du taux de renouvellement ; Parigi-Bini et al., 1989). Actuellement, un rythme semi-intensif est pratiqué dans les élevages, une insémination 11 jours après la parturition (rythme de 42 jours) conduisant à une superposition de la lactation et de la gestation pendant 57% de la durée du cycle (Figure 8, p35). Les femelles arrivent difficilement à suivre ce rythme de reproduction, puisque l'intervalle moyen entre deux parturitions dans les élevages français est de 56 jours (Tableau 1), traduisant ainsi les problèmes de fertilité (voir 2.1.2). La productivité et la fertilité des lapines augmentent lorsque l'intervalle entre deux parturitions croît (Cervera, 1993 ; Theau-Clément, 2001). Le rythme de reproduction est également impliqué dans l'évolution de l'état corporel des femelles. En effet, Parigi-Bini et al. (1996) observent un déficit énergétique plus important à la 2^{ème} parturition chez les lapines

inséminées 12 jours après la 1^{ère} mise bas par rapport à celles inséminées 28 jours après la 1^{ère} mise bas. Toutefois les lapines primipares ne sont pas capables de restaurer leurs réserves adipeuses initiales quel que soit le rythme de reproduction utilisé.

L'importance de la mobilisation des réserves lipidiques au cours de la lactation se traduit par une diminution progressive du poids des tissus adipeux par rapport au jour de la parturition (Parigi-Bini et al., 1990 ; Pascual et al., 2002). De même, Xiccato et al. (2001 et 2004a) constatent une diminution du déficit énergétique des femelles lorsque la durée de la lactation est réduite : -8, -14 et -19% pour un sevrage des lapereaux à 21, 26 et 32 jours d'âge respectivement. Le sevrage précoce semble par conséquent pertinent pour réduire la sollicitation nutritionnelle des femelles. De plus, il n'affecterait pas notablement les performances de reproduction des lapines. Une combinaison d'une diminution du rythme de reproduction et d'un sevrage précoce semble donc envisageable et prometteur pour réduire le déficit énergétique des femelles et améliorer leur état corporel et leur fertilité.

Dans le cadre de ce travail, nous avons donc choisi le rythme de reproduction couplé à l'âge au sevrage comme leviers pilotant la conduite de la reproduction dans l'atelier maternité.

Peu d'études ont été réalisées sur ce sujet. Xiccato et al. (2004b et 2005) constatent qu'une extensification du rythme de reproduction (insémination à 26 versus IA à 2 ou 11 j après la parturition) améliore les performances de reproduction et réduit le déficit énergétique des femelles. Cependant, aucun effet de l'âge au sevrage (21 ou 25 jours après la parturition) sur le déficit énergétique des femelles n'a été enregistré dans ces travaux. Le sevrage le plus précoce (à 21 jours) réduirait le nombre et le poids des lapereaux nés vivants par portée.

Castellini et al. (2003) ont comparé deux rythmes de reproduction, avec un âge au sevrage fixé à 26 jours, pendant 8 cycles consécutifs. Un rythme de reproduction fixe de 42 jours, IA 11 jours après la parturition, est comparé à un rythme alterné, IA 1 jour (*au cycle n*) puis 27 jours après la parturition (*au cycle n+1*), conduisant à un rythme de reproduction moyen de 45 jours. Au final, l'intervalle moyen entre deux parturitions a été identique dans les deux rythmes testés (57,4 vs 58,1 jours). Pour une taille de portée égalisée à la naissance à 8 lapereaux, le rythme de reproduction alterné comparé au rythme classique a permis de réduire le déficit énergétique des femelles de 7 points et le taux de remplacement annuel des femelles de 10 points (80 vs 90%). De plus, le poids et le nombre de lapins vendus par femelle et par an sont significativement supérieurs (+6%) pour le rythme alterné. Ce dernier point est en partie expliqué par une viabilité de la naissance à la vente accrue de 5 points chez les lapereaux issus du rythme de reproduction alterné par rapport au rythme classique. Cet

exemple est très intéressant car il met en évidence l'importance des modalités de conduite de la reproduction (atelier maternité) sur les performances de l'atelier d'engraissement.

Dans ce travail de thèse, nous avons choisi de respecter des contraintes à l'échelle du système d'élevage. Notre choix du rythme de reproduction doit permettre de maintenir une organisation hebdomadaire du travail. Et sa combinaison avec le choix d'une durée de la lactation doit permettre de réaliser un vide sanitaire.

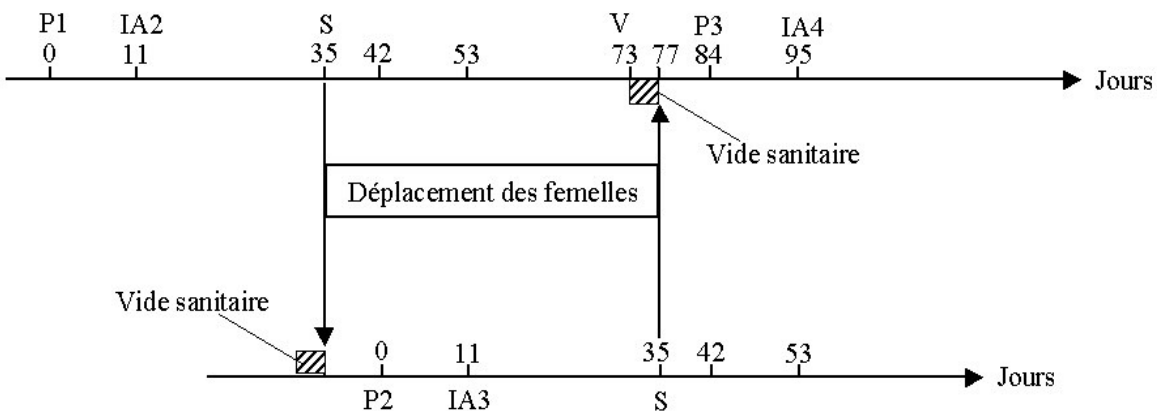
En effet, pour être applicable dans un élevage cynicole rationnel, une conduite de la reproduction à l'échelle où nous l'entendons (rythme de reproduction et âge au sevrage) doit réunir plusieurs conditions :

- Le rythme de reproduction (intervalle entre 2 inséminations) doit être un multiple de 7, pour une organisation du travail d'élevage à jour fixe. Dans ce cas, l'intervalle entre deux inséminations peut être de 35, 42, 49, 56... jours.

- La combinaison du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage doit permettre de réaliser un vide sanitaire. La durée du vide sanitaire correspond à la différence entre la durée du cycle de reproduction et la durée de la période d'engraissement. Elle est donc calculée de la manière suivante (Figure 7) :

$$\text{Vide sanitaire (j)} = \text{rythme de reproduction (j)} - (\text{âge à la vente (j)} - \text{âge au sevrage (j)})$$

Figure 7 : Représentation de la durée du vide sanitaire avec un rythme de reproduction de 42 jours, un sevrage à 35 jours et une vente à 73 jours



P : Parturition

V : Vente des lapereaux à 73 jours d'âge

IA : Insémination artificielle

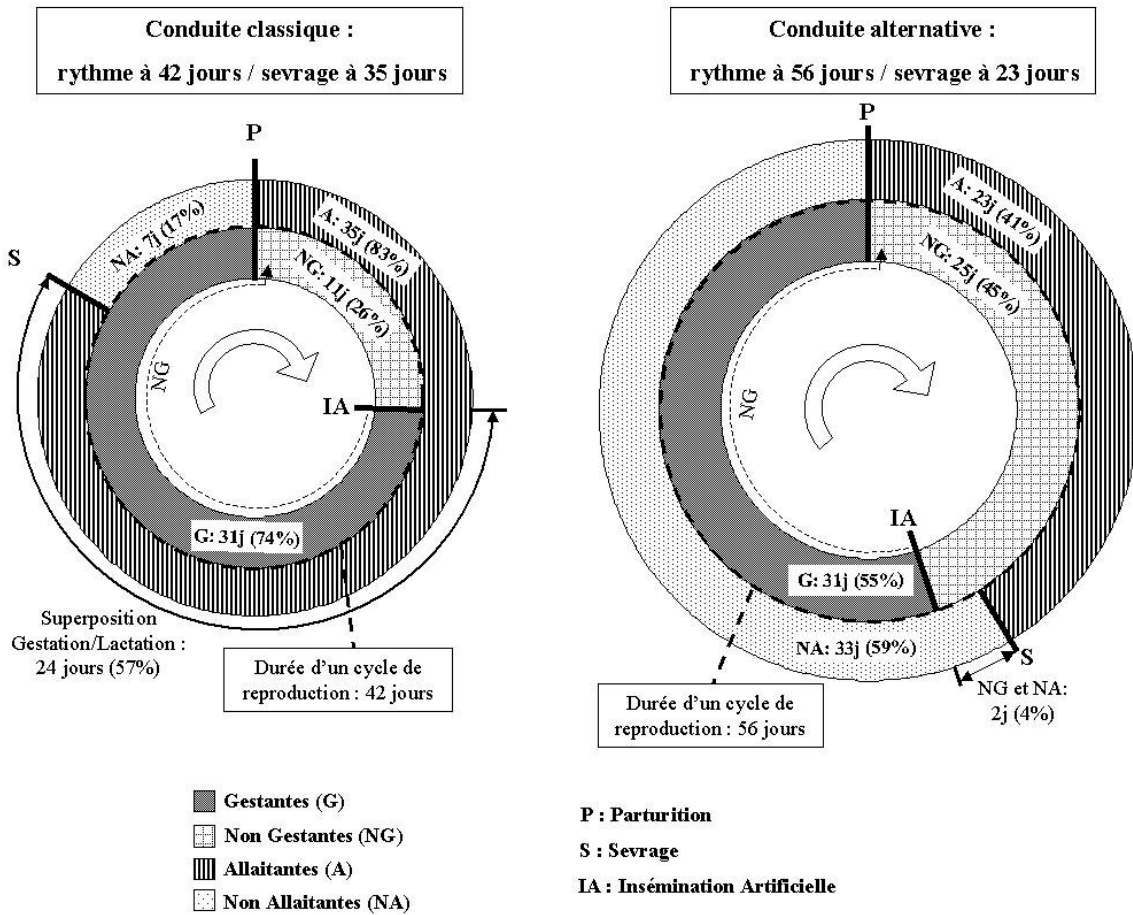
S : Sevrage des lapereaux à 35 jours d'âge

Le vide sanitaire (nettoyage, désinfection, séchage) est primordial dans une maîtrise durable du statut sanitaire d'un élevage, quel que soit l'espèce animale considérée. Il assure

une rupture du microbisme entre deux bandes consécutives et diminue ainsi la pression microbienne dans l'environnement d'élevage. Généralement, l'éleveur déplace la lapine au sevrage dans une nouvelle cage. Cette conduite dite « en tout plein tout vide » tend à se généraliser. Elle permet la réalisation d'un vide sanitaire entre chaque cycle de reproduction. En élevage cunicole, un vide sanitaire de 3 à 5 jours entre deux bandes est nécessaire.

Nous avons vu précédemment que la conduite actuelle de la reproduction correspond à un rythme de reproduction de 42 jours combiné à un âge au sevrage de 35 jours. Nous choisirons cette conduite comme témoin dans notre travail expérimental. Le Tableau 1 montre que ce rythme d'insémination de 42 jours se traduit par un intervalle moyen de 56 jours entre deux parturitions dans les élevages. Nous choisirons donc cet intervalle, comme rythme de reproduction expérimental (56 j), soit une insémination 25 jours après la parturition. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le déficit nutritionnel associé à la production laitière semble être un facteur important impliqué dans la problématique de l'atelier maternité. Notre objectif est de proposer un rythme de reproduction qui limite la sollicitation nutritionnelle des lapines en évitant la superposition de la gestation et de la lactation. Nous combinerons à ce rythme de reproduction plus extensif (IA 25 jours après la parturition) un sevrage précoce, à 23 jours d'âge (Figure 8). Notre conduite alternative de la reproduction correspond ainsi à une insémination après le sevrage. Elle a pour objectif de s'affranchir de l'antagonisme hormonal entre la lactation et la reproduction et d'augmenter ainsi la fertilité des femelles.

Figure 8 : Comparaison entre la conduite témoin (classique) et notre conduite alternative de la reproduction



La Figure 8 schématise les deux conduites de la reproduction comparées dans le cadre de notre travail. Dans notre représentation, la gestation et la lactation sont schématisées par deux cercles concentriques. Un cycle de reproduction commence à l'insémination artificielle et s'achève au sevrage. Une femelle « parcourt » ces cercles plusieurs fois au cours de sa vie productive. Notre représentation circulaire permet de visualiser directement la période de superposition entre la gestation et la lactation, période de forte sollicitation nutritionnelle. La conduite en bande unique dans les élevages impose aux lapines non gestantes après l'insémination au cycle n de suivre le même planning que les femelles gestantes, elles sont donc à nouveau inséminées le jour de l'insémination du cycle $n+1$. Par conséquent le délai de remise à la reproduction correspond à la durée d'un cycle. Une augmentation du délai Parturition-Insémination Artificielle, c'est-à-dire une extensification du rythme de reproduction se traduit par un allongement de la durée du cycle de reproduction et donc un accroissement de la circonférence du cercle en pointillé (Figure 8). A l'échelle d'un an, cette stratégie réduit ainsi le nombre de cycles de production potentiel. Dans ce contexte, maintenir

la productivité annuelle de la conduite classique implique donc de compenser la perte du nombre de cycle de production par une augmentation de production par cycle.

Notre conduite alternative de la reproduction a au moins une conséquence importante dans l'atelier d'engraissement puisque c'est l'âge au sevrage qui module l'entrée des lapereaux dans cet atelier. Nous étudierons donc les répercussions de cette conduite sur l'atelier d'engraissement.

2.2.3 Les leviers biotechniques en conséquence de l'atelier d'engraissement : âge au sevrage et aliment post-sevrage

Un âge au sevrage précoce

Le sevrage est qualifié de précoce lorsqu'il est réalisé avant 26 jours d'âge (Fortun-Lamothe et Gidenne, 2003). Quelques travaux récents ont permis d'améliorer notre connaissance des effets du sevrage précoce sur les performances zootechniques des lapereaux.

Le sevrage se traduit par une augmentation de la consommation d'aliment solide par rapport à des lapereaux allaités du même âge (Gallois et al., 2005). Cette ingestion solide supplémentaire ne compense pas l'absence de lait puisqu'à 32 jours, les lapereaux sevrés précocement (à 21 ou 25 jours) sont plus légers que les lapereaux sevrés plus tardivement (à 28 ou 35 jours ; Xiccato et al., 2000). En effet, la croissance post-sevrage des lapereaux sevrés précocement est inférieure, se traduisant par un poids plus faible au début de la période d'engraissement. Cependant une croissance compensatrice permet généralement d'annuler cette différence en fin d'engraissement (Prud'hon et Bel, 1968 ; Piattoni et al., 1999, Xiccato et al., 2000 ; Gidenne et Fortun-Lamothe, 2004 ; Gallois et al., 2004). En revanche, un âge au sevrage trop précoce, à 14 jours, entraîne une ingestion et une croissance plus faibles comparés à un âge au sevrage plus tardif à 28 jours (McNitt et Moody, 1992 ; Ferguson et al., 1997).

Le sevrage précoce n'affecte pas la santé des lapereaux dans certaines études (Piattoni et al., 1999 ; Xiccato et al., 2000). Cependant, Gidenne et Fortun-Lamothe (2001 et 2004) observent une mortalité plus élevée pendant la période post-sevrage (de 32 à 45 j) lorsque les lapereaux sont sevrés précocement (23 j vs 32 j). De même McNitt et Moody, (1992) et Ferguson et al. (1997) observent une forte mortalité lorsque le sevrage est réalisé à 14 jours.

Le sevrage précoce est d'un grand intérêt. Il peut permettre d'améliorer l'état corporel des lapines par réduction de la durée de la lactation (vu précédemment) et de limiter potentiellement la transmission de pathogènes de la mère aux jeunes, notamment de *Pasteurella multocida* (Rideaud et Coudert, 1992). De plus, le sevrage précoce permet de nourrir les jeunes lapereaux avec un aliment spécifique dès qu'ils ingèrent une quantité significative d'aliment solide, afin de répondre à leurs besoins pour optimiser leur croissance et leur santé (Fortun-Lamothe et Gidenne, 2003).

L'alimentation des jeunes lapereaux

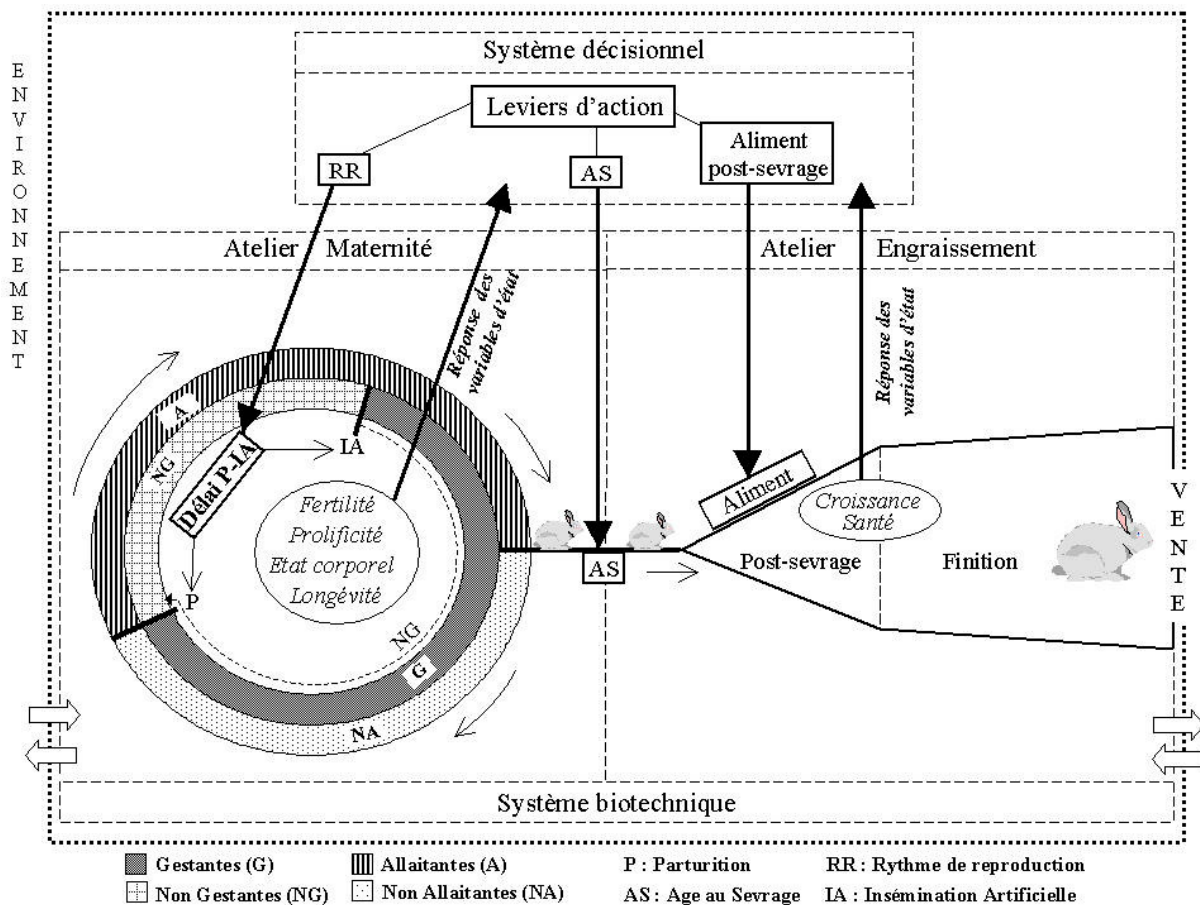
L'initiation à l'alimentation solide des lapereaux s'effectue vers 18 jours d'âge (Scapinello et al., 1999). La composition de l'aliment distribué au jeune lapereau (de 18 à 30 j) influence la mise en place de ses capacités digestives, ses performances et sa viabilité ultérieures (Fortun-Lamothe et Gidenne, 2003). Or, dans les conditions classiques d'élevage, les lapereaux jusqu'au sevrage n'ont à leur disposition pendant cette période que l'aliment distribué aux femelles reproductrices. Cet aliment est généralement très énergétique afin de répondre aux besoins importants de cette catégorie d'animaux. L'énergie est le plus souvent apportée sous forme d'amidon. Or, des travaux récents montrent que les femelles et les jeunes lapereaux ont des exigences nutritionnelles antagonistes. Ainsi les jeunes lapereaux ont une faible capacité de digestion de l'amidon (Gutierrez et al., 2002 ; Debray et al., 2003) et des apports suffisants de fibres semblent importants pour préserver leur santé ultérieure (Fortun-Lamothe et Gidenne, 2003). Peu d'études se sont intéressées à l'impact de l'aliment et de l'âge au sevrage sur la santé et les performances de croissance des lapereaux. Ainsi, les besoins nutritionnels des lapereaux sevrés précocement restent à préciser.

Nous avons donc choisi un sevrage précoce associé à une alimentation spécifique des jeunes lapereaux comme leviers pilotant l'atelier d'engraissement dans notre approche globale de la conduite du système d'élevage cynicole.

2.3 Objectifs de notre travail

La conduite de la reproduction est donc le niveau d'approche que nous avons choisi pour aborder la complexité du système d'élevage cunicole et sa problématique. Les objectifs de ce travail sont multiples. A partir de la comparaison d'une conduite classique et d'une conduite alternative de la reproduction, nos objectifs sont d'optimiser durablement les performances de l'atelier maternité et d'engraissement. Les deux conduites étudiées diffèrent sur 3 points représentant les 3 leviers d'action utilisés pour piloter durablement la reproduction dans un système d'élevage cunicole (Figure 9) : le rythme de reproduction (délai parturition-IA de 11 ou 25 jours), l'âge au sevrage (précoce à 23 jours ou classique à 35 jours), et l'alimentation sèche des jeunes lapereaux (mise à disposition d'un aliment spécifique pour les jeunes lapereaux ou de l'aliment classique répondant aux besoins des femelles).

Figure 9 : Modèle conceptuel dynamique du fonctionnement des élevages cunicoles dans le cadre de la maîtrise de la reproduction



En jouant sur ces 3 leviers (méthode classique ou méthode alternative) nos objectifs sont :

- évaluer l'influence respective du rythme de reproduction (délai entre la parturition et l'insémination artificielle) et de l'âge au sevrage (durée de lactation) sur l'état corporel, les performances de reproduction (fertilité, prolificité) et la longévité des lapines. L'action de ces deux leviers dans l'atelier maternité pourrait permettre de mieux maîtriser la reproduction : augmenter les performances des lapines (fertilité) en limitant l'usage de traitements hormonaux (PMSG), améliorer la durée de vie productive des femelles en limitant la sollicitation nutritionnelle des lapines (réduction du taux de renouvellement). Nous étudierons également l'influence de la conduite de la reproduction dans l'atelier maternité sur les performances de croissance et la santé des lapereaux dans l'atelier engraissement.
- préciser les effets respectifs de l'âge au sevrage et de la composition nutritionnelle de l'aliment sur les performances des lapereaux, et améliorer la connaissance des besoins nutritionnels des lapereaux sevrés précocement. L'action des leviers « âge au sevrage » et « aliment distribué après le sevrage » pourraient limiter l'apparition des troubles digestifs (limiter en conséquence l'usage des antibiotiques) et les pertes d'animaux (augmenter le nombre de produits vendus).

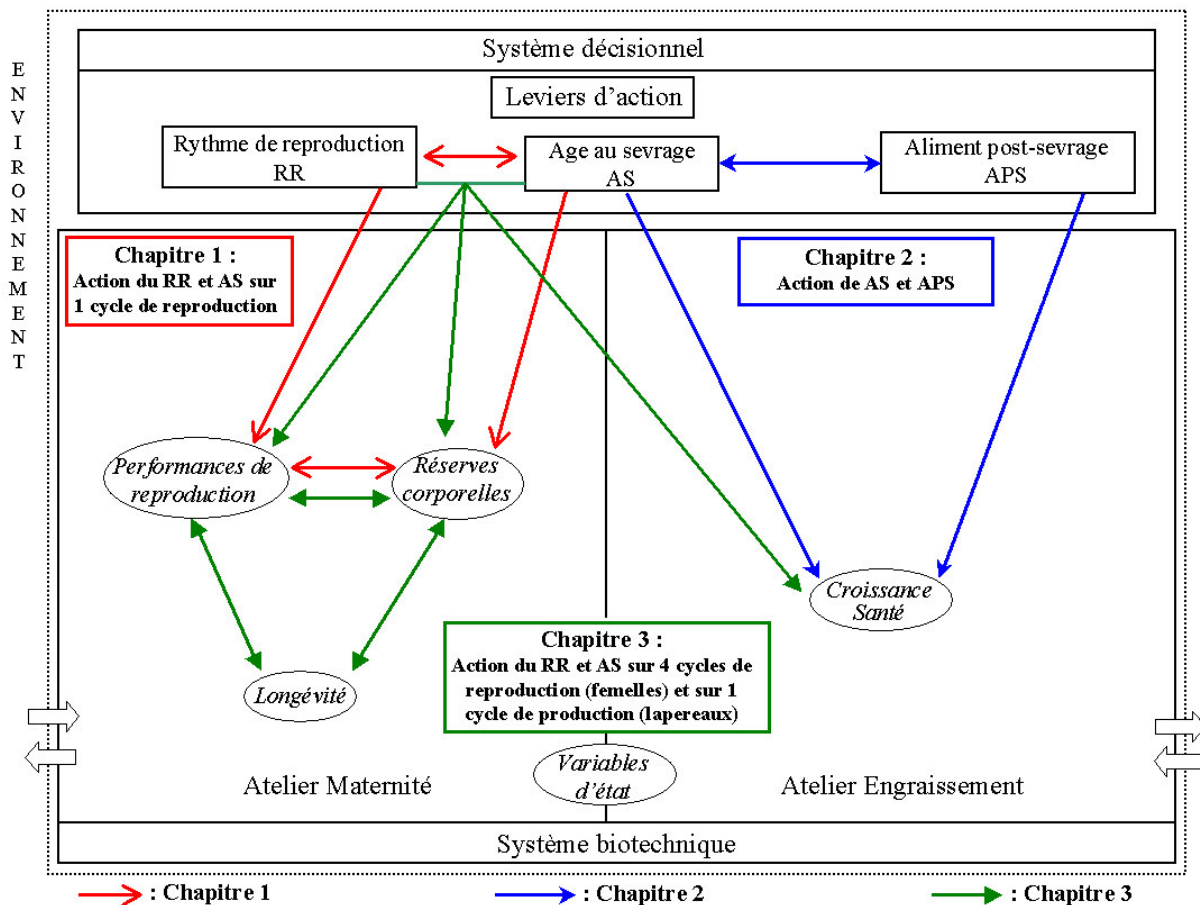
Ce travail vise à proposer une méthode qui permette de maintenir dans le temps une image de qualité de la production cunicole.

3 Travail expérimental

3.1 Le plan d'action expérimentale

L'élaboration d'un plan d'action expérimentale va nous permettre d'évaluer la réponse du système biotechnique à l'action des leviers choisis à différentes échelles (Figure 10).

Figure 10 : Plan d'action expérimentale



Dans un **premier chapitre** nous allons tout d'abord étudier l'influence du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage sur l'état corporel et les performances de reproduction des lapines primipares à l'échelle d'un cycle de reproduction (influence respective et combinaison des deux facteurs). Nous préciserons également les relations entre état corporel au moment de l'insémination et performances de reproduction.

Dans un **deuxième chapitre** nous étudierons les interactions entre l'âge au sevrage et l'alimentation sur la santé des lapereaux. Ce travail consiste à évaluer les avantages relatifs d'une alimentation solide adaptée aux besoins des lapereaux dès le plus jeune âge par rapport à une alimentation lactée combinée à la mise à disposition d'un aliment formulé pour répondre aux besoins des femelles reproductrices. La composition de l'aliment solide sera

formulée en fonction des résultats de deux expérimentations préliminaires permettant de préciser les besoins nutritionnels en fibres et en protéines des lapereaux sevrés précocement pour améliorer leur santé digestive et optimiser leur performance de croissance. Les travaux de ces deux premiers chapitres ont fait l'objet de publications dans des journaux anglophones à comité de lecture. Nous avons fait le choix de rapporter directement le texte de ces publications en langue anglaise.

Dans un **troisième chapitre** nous étudierons l'influence des deux conduites de la reproduction (classique/alternative) qui diffèrent par leur rythme de reproduction et l'âge au sevrage, sur l'état corporel, les performances de reproduction des lapines (primipares et multipares) et leur longévité à l'échelle de 4 cycles de reproduction. De plus, nous évaluerons les répercussions de ces conduites sur les performances de croissance et la santé des lapereaux issus du quatrième sevrage.

Dans le cadre de ce travail expérimental, les leviers d'action qui n'ont pas été choisis ont été fixés. C'est par exemple le cas de l'aliment des lapines reproductrices qui respecte pour toutes les expérimentations des contraintes nutritionnelles constantes (ED : 10,6 MJ/Kg, MAT : 170 g/kg, ADF : 185 g/Kg, Amidon : 145 g/Kg). De même, la souche des lapines utilisée a également été constante au cours du travail expérimental. Le génotype INRA 0067 correspondant au croisement de femelles INRA 1077 avec des mâles INRA 2066 a été choisi. Ces lapines sont fréquemment utilisées comme femelles reproductrices dans les élevages cunicoles français. Ces femelles ont toujours été inséminées avec de la semence de mâles PS 19, sélectionnés pour leur vitesse de croissance et leur valeur bouchère pour produire les lapereaux de boucherie. Par conséquent le génotype des lapereaux a également été constant dans ce travail expérimental.

Note. Initialement, notre plan d'action expérimentale était plus ambitieux. En effet, nous avons prévu de tester l'influence du délai entre l'insémination et le sevrage sur les réserves corporelles et les performances de reproduction des lapines. L'âge au sevrage était tout d'abord fixé et quatre dates d'insémination étaient comparées. Puis la date d'insémination était fixée et quatre âges au sevrage étaient comparés. Enfin, une dernière expérimentation avait pour objectif d'évaluer l'influence du rythme de reproduction des femelles sur la santé des lapereaux avec un âge au sevrage fixé. Malheureusement, des problèmes sanitaires sur les femelles (épidémies de Pasteurellose et de Klebsiellose) sont survenus sur plusieurs des expérimentations. Ces trois expériences ont donc été annulées en cours de réalisation. Nous déplorons cette situation, mais elle ne fait que souligner la pertinence de notre problématique.

3.2 Chapitre 1 : Extensive reproductive rhythm and early weaning improve body condition and fertility of rabbit does

Animal Research 2006, 55, in press.

FEUGIER Alexandre, FORTUN-LAMOTHE Laurence

Station de Recherches Cunicoles, INRA, BP52627, 31326 Castanet-Tolosan cedex

Abstract - This research was aimed at evaluating the respective influence of reproductive rhythm (R), artificial insemination (AI) performed on the 11th or the 25th day after kindling, and age at weaning (W) at 23 or 35 days of lactation, on the evolution of body condition and reproductive performance of rabbit does. Immediately after the initial kindling 12 does were selected for initial slaughter. The 234 primiparous does were assigned at their first parturition to one of four treatments: R11W23, R11W35, R25W23 and R25W35. The does representative of each experimental group were slaughtered at successive stages of the reproduction cycle to evaluate reproductive performance or body condition. When artificial insemination was performed 25 days compared to 11 days after kindling, main dissectible fat weight of the does was lower at insemination (67 g vs. 98 g in R25 and R11 does respectively; $P < 0.001$). But main dissectible fat weight at second parturition was higher in the R25 than in the R11 group (+27.3%; $P < 0.001$). From the first kindling to AI, the energy balance of does was positive in the R25 group and negative in the R11 group (+847 kJ·kg^{-0.75} vs. -729 kJ·kg^{-0.75} in R25 and R11 does respectively; $P < 0.015$). Moreover, the R25 does had a higher sexual receptivity at AI (+24 points; $P < 0.001$), and pregnancy rate (+16 points; $P < 0.05$) than the R11 does. Additionally, foetal viability (+5.4%; $P < 0.05$) was higher in the R25 than R11 groups whereas the number of *corpora lutea*, number of kits born alive and weight of litter at birth were not affected by reproductive rhythm. An early weaning did not affect the reproductive performance of the does but significantly reduced the main dissectible fat mobilisation (-35% vs. -54% in W23 and W35 groups respectively; $P < 0.001$) and increased live body (+135 g vs. -32 g, $P < 0.005$), empty body (+78 g vs. -93 g, $P < 0.001$) and defatted carcass weight gains (+79 g vs. -19 g, $P < 0.001$) from 1st to 2nd parturition. The present results demonstrate that limiting the nutritional solicitation of females by shortening the duration of lactation or the length of superposition between lactation and pregnancy, reduces the body fat mobilisation of primiparous does. The effects of reproductive rhythm and weaning age on corporal condition add together.

Keywords: Rabbit does, Reproductive rhythm, Weaning age, Reproductive performance, Body condition.

Résumé - Cette étude a eu pour objectif d'évaluer l'influence respective du rythme de reproduction (R), d'une insémination artificielle (IA) le 11^{ème} ou le 25^{ème} jour après la mise bas, et de l'âge des lapereaux au sevrage (W) à 23 ou à 35 jours de lactation, sur l'évolution de l'état corporel et les performances de reproduction des lapines. Immédiatement après la première parturition, 12 lapines ont été choisies pour l'abattage initial. Les 234 lapines primipares restantes ont été réparties à leur première parturition dans quatre groupes expérimentaux : AI11W23, AI11W35, AI25W23 et AI25W35. Des femelles représentatives de chacun des groupes expérimentaux ont été sacrifiées tout au long du cycle de reproduction pour évaluer leur performance de reproduction ou leur état corporel. Lorsque l'insémination artificielle a été réalisée 25 jours au lieu de 11 jours après la mise bas, le poids des principaux dépôts adipeux dissécables a été plus faible à l'insémination (67 g vs. 98 g dans les groupes R25 et R11 respectivement; $P < 0,001$). Mais le poids de ces principaux dépôts adipeux a été plus élevé (+27,3 % ; $P < 0,001$) dans le groupe R25 que dans le groupe R11 à la seconde mise bas. De la première mise bas à l'IA, le bilan énergétique des femelles a été positif dans le groupe R25 et négatif dans le groupe R11 (+847 kJ·kg^{-0.75} vs. -729 kJ·kg^{-0.75} dans les groupes R25 et R11 respectivement ; $P < 0,015$). De plus, les femelles R25 ont eu une réceptivité sexuelle supérieure (+24 points ; $P < 0,001$), et un taux de gestation accru (+16 points ; $P < 0,05$) par rapport aux femelles R11. D'autre part, la viabilité foetale (+5,4% ; $P < 0,05$) a été supérieure dans le groupe R25 comparé au groupe R11 alors que le nombre d'ovules pondus, le nombre de lapereaux nés vivants et le poids de la portée à la naissance n'ont pas été affectés par le rythme de reproduction. Un sevrage plus précoce n'a pas affecté les performances de reproduction des femelles, mais a limité de façon importante la mobilisation des réserves corporelles lipidiques (-35% vs. -54% dans les groupes W23 et W35 respectivement ; $P < 0,001$) et a augmenté le gain de poids vif (+135 g vs. -32 g, $P < 0,005$), de poids vif vide (+78 g vs. -93 g, $P < 0,001$) et de poids de carcasse dégraissée (+79 g vs. -19 g ; $P < 0,001$) de la première à la seconde mise bas. Ces résultats démontrent que limiter la sollicitation nutritionnelle des lapines en réduisant la durée de la lactation ou le temps de superposition de la lactation et de la gestation, réduit la mobilisation des principales réserves adipeuses dissécables des femelles primipares. Les effets du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage sur l'état corporel s'additionnent.

Mots-clés : Lapine, Rythme de reproduction, Age au sevrage, Performance de reproduction, Etat corporel.

3.2.1 Introduction

Lactation is the most energetically expensive component of the reproduction cycle in mammals. In rabbit species, energy balance of lactating females is usually negative, and body reserves must be mobilised [19]. Indeed feed intake of rabbit does is not sufficient to meet nutritional requirements for maintenance and milk production [27]. Moreover, rabbit does could be fertilised shortly after parturition, then pregnancy and lactation overlap. In such a situation, the energy deficit increases because the need for milk production and foetal growth add together [19] and a competition for maternal resources occurs between the suckling litter and foetuses [15]. Previous results demonstrated that an increase of dietary energy content is not sufficient to cancel the energy deficit and avoid intense body mobilisation in primiparous rabbit does [23]. A negative energy balance is detrimental for the reproductive process [13, 17] and the length of the reproductive life is shorter in intensively than in extensively reared does [18]. Therefore, it seems interesting to study strategies (other than feeding strategies) which can reduce the energy mobilisation in lactating females and improve their reproductive performance. A new breeding system associating a lengthening of remating interval with an early weaning decreases the duration or cancels the superposition between pregnancy and lactation and could permit to reduce body stores mobilisation [22, 29, 30].

This research was aimed at evaluating the respective influence of reproductive rhythm and age at weaning on the evolution of body condition and reproductive performance of rabbit does.

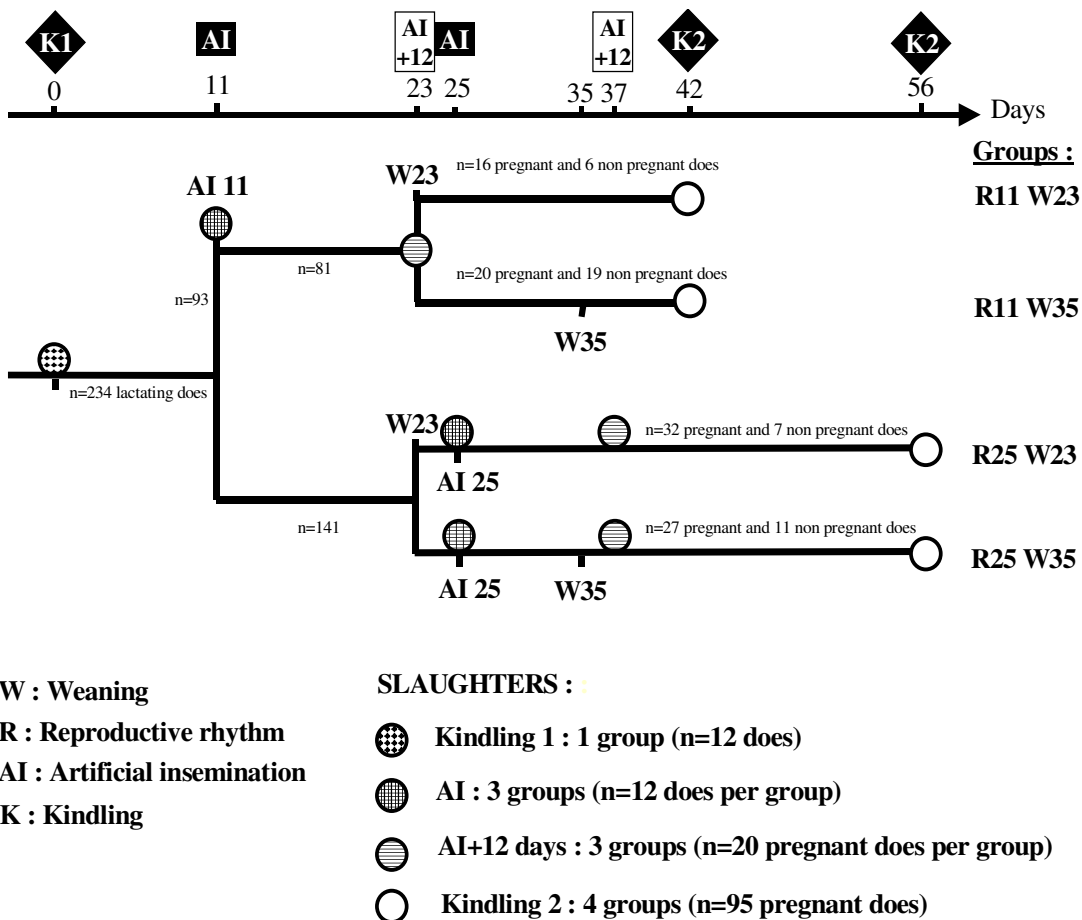
3.2.2 Materials and methods

3.2.2.1 Animals and experimental groups

Two-hundred forty-six pregnant primiparous does were used (INRA line 0067). The experiment lasted until the second kindling (final kindling). The does had their first parturition (day 0) at 154 days of age and at an average live weight of 3924 ± 274 g. Immediately after the initial kindling 12 does were slaughtered to estimate the initial body composition of the remaining does according to the comparative slaughtered technique [19]. The 234 remaining does were assigned to one of four treatments according to their body weight, litter size and litter weight at first parturition. The experimental groups differed on

reproductive rhythm: artificial insemination 11 days (R11) or 25 days (R25) after kindling, and weaning age: at 23 (W23) or 35 (W35) days of age. A total of 95 does out of 138 were pregnant and slaughtered at the final kindling in a 2 × 2 factorial arrangement (see Figure I). Additional measurements were performed on 96 does slaughtered at artificial insemination or at the 12th day of pregnancy, respecting the chronological differentiation of experimental groups (3 differentiated groups at both intermediary stages, Figure I). At artificial insemination, 36 does were slaughtered (12 does in each 3 groups according to their body weight, litter size and litter weight) in order to estimate the body composition at insemination of the remaining does. At the 12th day of pregnancy, 60 pregnant does (20 pregnant does in each 3 groups) were slaughtered to evaluate ovulation rate and foetal viability.

Figure I : Experimental design



Artificial insemination was performed in the morning by inseminating 0.5 mL of heterospermic pools produced by Grimaud Frères S.A. No hormonal synchronisation was performed. Immediately after insemination, ovulation was induced by injecting 0.2 mL of

GnRH (Receptal®). The litters were equalised at birth to 9 pups by cross fostering or culling. Each doe was caged individually with a controlled light/dark cycle (16 h/8 h) and had free access to water and diet. During the whole experiment, the females were given a commercial diet formulated to meet the nutritional requirements of reproductive rabbit does in agreement with De Blas and Mateos [7] (DE: 10.57 MJ·kg⁻¹, CP: 166 g·kg⁻¹, ADF: 193 g·kg⁻¹, Starch: 139 g·kg⁻¹). Nutritional composition of the diet was measured according to the European Group on Rabbit Nutrition (E.G.R.A.N) [8]. Feed intake of does, litter size and weight of both does and litter were recorded on the days of kindling (1st and 2nd), artificial insemination (AI), weaning and 12 days after AI. Energy balance between initial kindling and artificial insemination was estimated according to Parigi-Bini and Xiccato [21]. Milk production during this period was calculated using the weight gain of the pups [12]. No antibiotics were administered during the trial.

3.2.2.2 Body condition

The 246 does were slaughtered at successive stages of the reproduction cycle in order to evaluate reproductive performance or body condition. All the does were weighed just before slaughter and killed by cervical dislocation. At each slaughter stage, the does representative of each differentiated group (body weight, litter size and litter weight) were chosen. The comparative slaughter technique was used to estimate the evolution of body composition of the does between initial kindling and AI, and between initial and final kindling.

At slaughter, the defatted carcass, the full digestive tract, skin, kidneys, main dissectible adipose tissues (perirenal and interscapular) and genital tract were weighed. The gut and bladder were removed and weighed after emptying. The genital tract was removed and dissected. Empty body weight was defined as live weight minus digestive tract, bladder and uterus contents.

3.2.2.3 Reproductive performance

Sexual receptivity at insemination was determined using the vulva colour and turgescency according to Rodriguez [24]. Two classes were established: receptive (red or violet and turgescence vulva) and non-receptive females (white or pink and no-turgescence)

vulva). Does slaughtered at AI and 12 days after were included in the sexual receptivity estimation.

Fertility was evaluated by abdominal palpation 12 days after AI to determine the pregnancy rate (number of pregnant does \times 100 / number of AI). Pregnant does slaughtered on the 12th day of pregnancy were included in the pregnancy rate estimation.

Twelve days after AI, 60 pregnant does were slaughtered to evaluate reproductive performance. The total weight of placentas and foetuses of pregnant does was measured. The number of *corpora lutea* (CL) was counted to determine the ovulation rate. Foetuses were counted and divided into two classes: 1) live (L), when the foetus had a visible vascularisation 2) dead (D), when the foetus had an invisible vascularisation or when the foetus was resorbed (foetus was represented by a varying amount of placenta tissue and/or foetal membranes). Mortality was defined as follows:

Embryonic mortality = $(CL - (L + D)) \times 100 / CL$

Foetal mortality = $(D) \times 100 / (L + D)$

It should be noted that embryonic mortality included fertilisation and implantation failures. Litter size and weight were recorded at the second kindling in the remaining females.

3.2.2.4 Data treatment and statistical analysis

All data were analysed using the Statistical Analysis Systems Institute package [25]. The weights of animals and organs and feed intake were analysed with analysis of variance (GLM procedure) and receptivity, fertility and mortality were analysed with a chi-square test (procedure CATMOD/SAS). Body composition of the pregnant does between the initial and final kindling (Table II) and reproductive performance at weaning and at final kindling (Table IV) were analysed by a two way analysis of variance (two reproductive rhythm by two weaning age with interaction). No significant interaction between reproductive rhythm and weaning age was recorded either for body composition of the does between initial and final kindling and reproductive performance at weaning and at final parturition. Therefore only the main factors were presented in Tables II and IV. Intermediary measurements such as body composition and energy balance of the does from kindling 1 to AI (Table I) and quantitative reproductive performance at the 12th day of pregnancy (Table III) were analysed by a one way analysis of variance (3 differentiated groups R11, R25W23, R25W35 representing 2

reproductive rhythms R11 and R25). When the groups differed significantly ($P<0.05$), differences between means were determined using the Scheffe test.

3.2.3 Results

3.2.3.1 Body condition and energy balance:

Energy balance and evolution of body condition between first kindling and AI (Table I)

Live body, empty body and defatted carcass weights at AI, were not affected by reproductive rhythm. On the contrary, the weight of main dissectible fat depots was lower at fertilisation when AI was performed 25 days compared to 11 days after kindling (67 g vs. 98 g in R25 and R11 does respectively; $P<0.001$). This result was explained by a longer lactation length before AI in the R25 than in the R11 group. Indeed, the total milk production was 151% higher (4667 vs. 1858 g in R25 and R11 does respectively; $P<0.001$) when lactation was on average 13 days longer before AI. However, the energy balance from first kindling to AI was positive in the R25 group and negative in the R11 group (+847 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-0.75}$ vs. -729 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-0.75}$ in R25 and R11 does respectively; $P<0.001$). This could be related to a higher increase in daily DE intake in the R25 than in the R11 group (+16.7%; $P<0.001$) compared to the increase of daily milk production (+10.5%; $P<0.015$). When does were inseminated 25 days after kindling live body, empty body and defatted carcass weights at AI and energy balance from first kindling to AI were not affected by age at weaning.

Table I : Energy balance and evolution of body composition of the does from first kindling to AI

Reproductive rhythm	R11	R 25			Pr>F
Weaning age		W23	W35	RMSE	R
<i>No. of does</i> [†]	36	32	27		
Initial kindling					
Live body, g	3933	3908	3938	271	0.850
Empty body, g	3610	3594	3614	181	0.850
Defatted carcass, g	2286	2278	2288	91	0.850
Fat depots ^{††} , g	139	137	139	14	0.850
Artificial insemination					
Live body, g	4260	4067	4263	282	0.856
Empty body, g	3823	3738	3893	232	0.779
Defatted carcass, g	2364	2314	2406	135	0.789
Fat depots ^{††} , g	98 ^a	63 ^b	72 ^b	16	<0.001
From initial kindling to artificial insemination					
Live body gain, g	328 ^a	160 ^b	325 ^a	241	0.072
Empty body gain, g	213 ^a	145 ^b	279 ^a	184	0.867
Defatted carcass gain, g	78 ^{ab}	36 ^b	118 ^a	106	0.858
Fat gain, g	-41 ^a	-75 ^b	-67 ^b	13	<0.001
Food intake, g day ⁻¹	311 ^b	352 ^a	369 ^a	41	<0.001
DE intake, kJ day ⁻¹ kg ^{-0.75}	1147 ^b	1324 ^a	1356 ^a	140	<0.001
DE intake, kJ·kg ^{-0.75}	12620 ^b	33102 ^a	33904 ^a	2794	<0.001
Milk production, g·day ⁻¹	169 ^b	181 ^{ab}	193 ^a	33	0.013
Total milk production, g	1858 ^b	4534 ^a	4824 ^a	767	<0.001
Energy balance, kJ·kg ^{-0.75}	-729 ^b	+845 ^a	+849 ^a	2979	0.014

R: Reproductive rhythm

†: only pregnant does at second parturition were considered

††: perirenal + interscapular fat weights

a, b, c: means within each row affected with a different letter are significantly different ($P<0.05$)

Evolution of body condition between first kindling and final kindling (Table II)

At final kindling, live body and defatted carcass weights were not affected by weaning age. However empty body and main dissectible fat depots decreased with increasing weaning age (-3.7%; $P<0.05$, -27.0%; $P<0.001$). Moreover, all measured parameters at final kindling were influenced by reproductive rhythm. Indeed, live body, empty body, defatted carcass and main dissectible fat weight were higher in R25 than in R11 does (+3.8%; $P<0.05$, +4.5%; $P<0.01$, +5.0%; $P=0.001$, +27.3%; $P<0.001$).

Table II : Evolution of body composition of the does between 1st and 2nd kindling

	Reproductive rhythm		Weaning age			Pr>F	
	R11	R25	W23	W35	RMSE	R	W
<i>No. of does</i> [†]	36	59	48	47			
Initial kindling							
Live body, g	3933	3922	3900	3953	272	0.937	0.301
Empty body, g	3610	3603	3588	3624	182	0.937	0.301
Defatted carcass, g	2286	2282	2275	2293	91	0.937	0.301
Fat depots ^{††} , g	139	138	137	140	14	0.941	0.302
Final kindling							
Live body, g	3886	4035	4035	3921	283	0.021	0.125
Empty body, g	3502	3659	3666	3531	250	0.008	0.032
Defatted carcass, g	2241	2359	2354	2274	156	0.001	0.075
Fat depots ^{††} , g	66	84	89	65	29	0.010	<0.001
From initial to final kindling							
Live body gain, g	-47	113	135	-32	234	0.004	0.003
Empty body gain, g	-108	56	78	-93	190	<0.001	<0.001
Defatted carcass gain, g	-45	77	79	-19	114	<0.001	0.001
Fat gain, g	-73	-54	-48	-75	29	0.010	<0.001

R: Reproductive rhythm

W: Weaning age

† Only pregnant does at second parturition were considered

††: perirenal + interscapular fat weights

3.2.3.2 Effect of reproductive rhythm and weaning age on reproductive performance

Effect of reproductive rhythm on reproductive performance at AI and at the 12th day of pregnancy (Table III)

Sexual receptivity of does (+24 points; $P<0.001$), pregnancy rate (+16 points; $P<0.05$) and foetal viability (+5.4%; $P<0.05$) were higher in primiparous females inseminated 25 days after kindling compared to those inseminated 11 days after kindling. On the contrary, the number of *corpora lutea*, embryonic mortality and uterus content, observed 12 days after insemination were not affected by reproductive rhythm. When the does were inseminated 25 days after kindling, reproductive performance was not affected by age at weaning.

Table III : Reproductive performance of the does at AI and at the 12th day of pregnancy

Reproductive rhythm	R11	R25		Pr>F	
Weaning age		W23	W35	RMSE	R
At artificial insemination					
<i>No. of does</i>	93	71	70		
Sexual Receptivity, %	69 ^b	96 ^a	90 ^a		<0.001
At the 12 th day of pregnancy					
<i>No. of does</i>	81	59	58		
Pregnancy rate, %	69 ^b	88 ^a	81 ^{ab}		0.012
<i>No. of does</i>	20	20	20		
No. of <i>Corpora Lutea</i>	16.4	16.4	17.5	1.9	0.301
Live foetus	13.3	13.7	14.6	2.4	0.228
Dead foetus	1.9 ^a	1.3 ^{ab}	0.9 ^b	1.2	0.026
Embryonic mortality, %	7.3	8.5	9.4		0.724
Foetal mortality, %	12.5 ^a	8.7 ^{ab}	5.5 ^b		0.015
Uterus content, g	24.2	23.5	23.1	5.7	0.633

R: Reproductive rhythm

a, b, c: means within each row affected with different letters are significantly different ($P<0.05$)

Effect of reproductive rhythm and weaning age on reproductive performance at weaning and at final parturition (Table IV)

Reproductive rhythm and weaning age did not significantly affect the number of kits born alive per litter and weight of litter at final kindling. Reproductive rhythm did not significantly influence the viability of rabbits of the first litter during lactation. But, the weight of litter at weaning was 61% lower when weaning occurred at 23 days compared to 35 days of age ($P<0.001$).

Table IV : Reproductive performance of the does at weaning and at final parturition

	Reproductive rhythm		Weaning age			Pr>F	
	R11	R25	W23	W35	RMSE	R	W
<i>No. of does</i>	36	59	48	47			
At weaning [†]							
No of kits weaned per litter	8.5	8.2	8.3	8.3	1.3	0.294	0.842
Weight of litter weaned, g	5732	4931	2883	7636	1043	0.151	<0.001
At final parturition							
No of kits alive per litter	13.7	13.3	13.3	13.5	2.3	0.486	0.857
Weight of litter (alive kits), g	728	753	745	742	139.3	0.410	0.903

R: Reproductive rhythm

W: Weaning age

†: Only pregnant does at final parturition were considered

3.2.4 Discussion

3.2.4.1 Evolution of body stores during the reproductive cycle

In the present study, the objective of early weaning was to reduce the lactation length and the nutritional needs linked to milk synthesis and thus to limit the body mobilisation of the does. Our results show that weaning age strongly influenced the evolution of body condition during the reproductive cycle. As expected, the weight of main dissectible fat depots at the second kindling was higher in early than in later weaned females. This was in

agreement with the results of Xiccato *et al.* [28] who reported a reduction of fat loss (-76 g, -129 g and -170 g in does weaned at 21, 26 and 32 days respectively) and energy deficit (-8%, -14% and -19% in does weaned at 21, 26 and 32 days respectively) between initial and final kindling in early weaned females. Reproductive rhythm is also implicated in the evolution of the female's body condition during the reproductive cycle. Indeed, main dissectible fat depots and protein body stores of the does are higher at final kindling when artificial insemination is performed later after previous parturition. In the same way, Parigi-Bini *et al.* [20] showed a higher energy deficit at second kindling in does remated 12 days after the first kindling compared to females remated 28 days after the first kindling. Anyway, in this study the primiparous does were unable to restore at the final kindling their initial body stores, whatever the remating interval (weaning at 28 days). The results of Xiccato *et al.* [29] showed a higher mobilisation of body fat between first and second kindling in the most intensive reproductive rhythm (does inseminated 2 days compared to 11 and 26 days after kindling). On the contrary, these authors observed no significant difference in the evolution of body composition between initial and final kindling in females fertilised at 11 or 26 days of lactation.

Our results suggested that the effect of both weaning age and reproductive rhythm on the evolution of body composition add together. The beneficial effect of a short lactation on mobilisation of adipose tissue at final kindling is higher when females are fertilised later after a previous kindling. The lower mobilisation of adipose tissue at final kindling was observed in does inseminated two days after an early weaning. A combination of reproductive rhythm and weaning age determines the length of the dry period during which the females could recover the body reserves they mobilised during lactation. The length of the dry period is strongly related to body condition at subsequent kindling.

3.2.4.2 Influence of reproductive rhythm and weaning age on reproductive performance

Our data showed a close relation between the vulva appearance and fertility, in agreement with previous results [26]. Sexual receptivity was higher when the remating interval increased. This agreed with the results of Castellini *et al.* [4]. Additionally, pregnancy rate increased when does were mated later after kindling. This confirmed the progressive recovery of reproductive ability of rabbits does during lactation [4, 5, 16, 18]. In the present work, the pregnancy rate of females was not affected by age at weaning. Besides, pregnancy rate of females inseminated 25 days after parturition was not significantly different in

lactating and weaned does. However, Xiccato *et al.* [31] observed the best reproductive performance in post weaning mated does. These authors suggested that it could be explained both by favourable body energy condition and hormonal status. In the same way, Castellini *et al.* [4] showed that an alternating reproductive rhythm (insemination 1 day after parturition alternated with 1 day after weaning which occurred at 26 days of age) improves the fertility rate compared to a fixed remating interval (11 days *post partum*).

The number of *corpora lutea* was not affected by remating interval. But foetal mortality decreased when remating interval increased. This was in agreement with the results of Parigi-Bini *et al.* [20] and confirmed the detrimental effect of concurrent pregnancy and lactation on foetal viability [11]. However, the effects of remating interval on foetal mortality were too small to significantly affect the litter size at birth. Cervera *et al.* [5] observed a higher prolificity when the remating interval increased. Previous results [11] showed that in simultaneously pregnant and lactating does, a competition for nutrient uptake occurs between the uterus and mammary gland that is detrimental to foetal growth. Indeed weight at birth (52.6 vs. 51.8 g) and lipid (-33%), protein (-2.3%) and energy contents (-4.8%) of new-born litters are lower when mothers are both pregnant and lactating [11]. In the present work, the duration of the superposition between pregnancy and lactation, modified by reproductive rhythm and lactation length, did not affect uterine content nor litter weight at birth. Therefore, in all experimental groups, the dry period might be long enough to allow a compensatory growth. None of the reproductive performance parameters registered at final kindling were affected by the length of lactation. This was in agreement with the results of Xiccato *et al.* [30].

3.2.4.3 Relationship between nutritional status and fertility

The daily feed intake and daily milk production between kindling and AI were higher when AI occurred 25 compared to 11 days after parturition. This result confirmed the positive relation between milk production and feed intake during lactation [9, 14]. Indeed, milk synthesis represents a high nutritional demand and the female's feed intake progressively increases during lactation to satisfy these greater needs. Energy balance from first kindling to AI was negative when does were inseminated 11 days after kindling and positive when does were inseminated the 25th day after kindling. This could be explained by an increase of daily DE intake higher than the increase of daily milk production during this period. Such a

situation could explain the better pregnancy rate observed in females fertilised later in lactation. This result was in accordance with a positive effect of increasing energy intake before mating on the conception rate of multiparous rabbit does [10]. The weight of fat depots at insemination was lower in R25 compared to R11 does. Therefore, main dissectible fat depots at the moment of insemination was not directly linked with fertility.

Chilliard et al. [6] showed that several mechanisms are implicated to avoid excessive fat mobilisation and/or to recover the body fatness homeostatic set point. Indeed, in the underfeeding condition, homeostasis and homeorhesis control determines dynamic reproductive events and the survival of the females [3]. Bauman and Currie [1] emphasised that if an environmental challenge is of sufficient magnitude (such as underfeeding condition), homeostatic controls for survival can overwhelm homeorhetic mechanisms operating in support of a physiological function.

The energy deficit associated with milk production partly explained the negative influence of lactation on reproductive performance of rabbit females [11] as observed in other farm animals [2]. Hormone levels (prolactin, oxytocin) associated with lactation could also be involved in the negative effect of lactation on pregnancy rate. But the effects of energy deficit and hormone levels depending on lactation stage were confused in the present experiment.

3.2.5 Conclusion

Nature has accorded a high priority to the function of lactation allowing it to proceed at the expense of the function of pregnancy when they overlap. The energy deficit generated by milk production negatively affects the pregnancy rate of females inseminated during lactation. The present results demonstrate that limiting the nutritional solicitation of females by shortening the duration of lactation or the length of superposition between lactation and pregnancy, reduces the body fat mobilisation of primiparous rabbit does. The effects of reproductive rhythm and weaning age on corporal condition add together. A reduction of reproductive rhythm increases the pregnancy rate of females partly due to a positive energy balance before insemination. On the contrary, the weaning age did not affect reproductive performance of the does. Such a result needs to be confirmed in multiparous does for which feed intake and thus nutrient supply are higher. Management practice using remating interval and weaning age also need to be further studied on the lifespan of females.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the personal of the Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques (INRA Le Magneraud, France) especially E. Lamothe, for the expert technical assistance. This study was supported by INRA and Région Poitou Charentes.

REFERENCES

- [1] Bauman D. E., Currie W. B., Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis, *J. Dairy Sci.* 63 (1980) 1514–1525.

- [2] Blanc F., Martin Graeme B., Bocquier F., Modelling reproduction in farm animals. A review, *Reprod. Fertil. Dev.* 13 (2001) 337-353.

- [3] Blanc F., Bocquier F., Debus N., Agabriel J., D’hour P., Chillard Y., La pérennité et la durabilité des élevages de ruminants dépendent des capacités adaptatives des femelles, *INRA Prod. Anim.* 17 (4) (2004) 287-302.

- [4] Castellini C., Dal Bosco A., Mugnai C., Comparison of different reproduction protocols for rabbit does: effect of litter size and mating interval, *Livest. Prod. Sci.* 83 (2003) 131-139.

- [5] Cervera C., Fernandez-Carmona J., Viudes de Castro P., Blas E., Effect of remating interval and diet on the performance of female rabbits and their litter, *Anim. Prod.* 56 (1993) 399-405.

- [6] Chilliard Y., Ferlay A., Faulconnier Y., Bonnet M., Rouel J., Bocquier F., Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants, *Proc. Nutr. Soc.* 59 (2000) 127–134.

- [7] De Blas J.C., Mateos G.G., Feed formulation, in: De Blas JC and Wiseman J (Eds.), *The Nutrition of the rabbit*, CABI publishing, CAB Int., Wallingford, Oxon, UK, 1998, pp. 241-253.

- [8] European Group on Rabbit Nutrition (EGRAN). Technical note: Attempts to harmonise chemical analyses of feeds and faeces, for rabbit feed evaluation, *World Rabbit Sci.* 9 (2001) 57-64.
- [9] Fortun-Lamothe, L., Energy balance and reproductive performance in rabbit does, *Anim. Reprod. Sci.* 93 (2005) 1-15.
- [10] Fortun-Lamothe, L., Effects of pre-mating energy intake on reproductive performance of rabbit does, *Anim. Sci.* 66 (1998) 263-269.
- [11] Fortun-Lamothe L., Prunier A., Effects of lactation, energetic deficit and remating interval on reproductive performance of primiparous rabbit does, *Anim. Reprod. Sci.* 55 (1999) 289-298.
- [12] Fortun-Lamothe L., Sabater F., Estimation de la production laitière des lapines à partir de la croissance des lapereaux, 10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, France, 19-20 novembre 2003, 69-72
- [13] Ianson H., Foster D.L., Foxcroft G.R., Booth P.J., Nutrition and reproduction, *Rev. Reprod. Biol.* 8 (1992) 239-311.
- [14] Lebas F., Influence de la taille de la portée et de la production laitière sur la quantité d'aliment ingérée par la lapine allaitante, *Reprod. Nutr. Dev.* 27 (1987) 207-208.
- [15] Martínez-Gómez M., Juárez M., Distel H., Hudson R., Overlapping litters and reproductive performance in the domestic rabbit, *Physiol. Behav.* 82 (2004) 629-636.
- [16] Mendez J., De Blas J.C., Fraga M.J., The effects of diet and remating interval after parturition on the reproductive performance of the commercial doe rabbits, *J. Anim. Sci.* 62 (1986) 1624-1634.
- [17] Monget P., Martin G.B., Nutrition et reproduction des animaux d'élevage, *Cah. Nut. Diet.* 32 (1997) 166-172.

- [18] Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M., Influenza dell' intervallo parto-accoppiamento sulle prestazioni riproduttive delle coniglie fattrici, *Coniglicoltura* 7 (1989) 51-57.
- [19] Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M, Dalle-Zotte A., Energy and protein utilization and partition in rabbit does concurrently pregnant and lactating, *Anim. Prod.* 55 (1992) 153-162.
- [20] Parigi-Bini R., Xiccato G., Dalle-Zotte A., Carazzolo A., Castellini C., Stradaoli G., Effect of remating interval and diet on the performance and energy balance of rabbit does, *Proc 6th World Rabbit Congress, Toulouse, France, 1996*, pp. 253-258.
- [21] Parigi-Bini R., Xiccato G., Energy metabolism and requirements, in: De Blas JC and Wiseman J (Eds), *The Nutrition of the rabbit*, CABI publishing, CAB Int., Wallingford, Oxon, UK, 1998, pp.103-131.
- [22] Pascual J.J., Early weaning of young rabbits: a review, *World Rabbit Sci.* 9 (4) (2001) 165-170.
- [23] Pascual J.J., Cervera C., Blas E., Fernandez-Carmona J., High-energy diets for reproductive rabbit does: effect of energy source, *Nutr. Abstr. Rev.* 73 (2003) 27R-39R.
- [24] Rodriguez J.M., Ubilla E., Effect of sexual receptivity on ovulation response in rabbit does induced with GnRH, *Proc 4th World Rabbit Congress, Budapest, Hungary, 1988*, pp. 504-508.
- [25] Statistical Analysis System, *SAS User's Guide, version 8*, SAS Institute Inc., Cary, NC, 1999.
- [26] Theau-Clément M., Roustan A., A study on relationships between receptivity and lactation in the doe, and their influence on reproductive performance, *Proc. 5th World Rabbit Congress , Corvallis, USA, 1992*, pp. 55-62.
- [27] Xiccato G., Nutrition of lactating does, *Proc. 6th World Rabbit Congress, Toulouse, 1996*, pp. 29-47.

[28] Xiccato G., Trocino A., Queaque P.I., Sartori A., Effect of weaning age and parity order on reproductive performance and body balance of rabbit does. Proc 2nd meeting of workgroups 3 and 4, COST Action 848, Godollo, Hungary, 2001, pp. 54-55.

[29] Xiccato G., Trocino A., Sartori A., Queaque P.I., Effect of reproductive rhythm and litter weaning age on the performance and body energy balance of rabbit does, Proc 8th World Rabbit Congress , Puebla, Mexico, 2004b, pp. 1029-1034.

[30] Xiccato G., Trocino A., Sartori A., Queaque P.I., Effect of parity order and litter weaning age on the performance and body energy balance of rabbit does, Livest. Prod. Sci. 85 (2004a) 239-251.

[31] Xiccato G., Trocino A., Boiti C., and Brecchia G. Reproductive rhythm and litter weaning age as they affect rabbit doe performance and body energy balance, Anim. Sci. 81 (2005) 289-296.

3.3 Chapitre 2 : Fibre and protein requirements of early weaned rabbits and the interaction with weaning age : effects on digestive health and growth performance

Animal Science 2006, 82, 493-500

A. Feugier^{1,2}, M.N. Smit¹, L. Fortun-Lamothe¹, T. Gidenne¹

¹*Station de Recherches Cunicoles, INRA, BP52627, 31326 Castanet-Tolosan cedex*

²*Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques, INRA, Domaine du Magneraud 17700 Surgères*

Abstract - The aims of this work were first to evaluate nutritional requirements of early weaned kits (23 days of age), more especially fibre (experiment 1) and protein (experiment 2) needs. In experiment 1, 306 early-weaned rabbits were fed from 23 to 50 days old one of the three experimental diets containing increasing fibre (ADF) level (16%, 19% or 22%). Fibre was substituted by starch and fat to obtain three isoenergetic diets. In experiment 2, 276 early-weaned rabbits were fed from 23 to 50 days old one of the three experimental diets containing increasing crude protein (CP) level (15%, 18% or 21%). Protein was substituted by starch and fat to obtain three isoenergetic diets. These studies revealed no effect of the dietary fibre level and the dietary crude protein level on health status. But from 23 to 36 days of age rabbits fed diets containing a fibre level over 19% or a crude protein level under 18% showed the lowest growth rate as compared with other respective treatments. Secondly, this research aimed to evaluate the interaction between age at weaning (23 days or 35 days of age) and food (RD and RY diets) on digestive health and performances of young rabbits (experiment 3). RD diet was formulated to contain 17% of starch, 16% of fibre and 18% of crude protein (according to the nutritional requirements of does) and RY diet was formulated to reach 11% of starch, 16% of fibre and 21% of crude protein (according to the results of experiments 1 and 2). 39 litters of 9 pups per litter were assigned at 18 days of age to one of four experimental groups in a 2x2 factorial design: RD23 ($n=84$ rabbits), RY23 ($n=85$ rabbits), RD35 ($n=86$ rabbits) and RY35 ($n=74$ rabbits). Food intake and live weight were not influenced by feeding strategy. Between 23 and 35 days of age, mortality was higher in RY than in RD group (20.4% vs 6.8% respectively; $P<0.05$). During this period growth rate was 58.4% higher in conventionally weaned than in early weaned rabbits ($P<0.001$). After 35 days of age, food intake and growth rate were 10.4% and 9.7% higher respectively in conventionally than in early weaned rabbits ($P<0.05$). Consequently, live weight was higher in conventionally weaned rabbits at both 35 and 53 days of age (+11.3% and +26.7% respectively ; $P<0.001$). Mortality rate between 23

and 35 days was 21 points higher ($P<0.001$) in early weaned than in conventionally weaned pups and 43 points higher ($P<0.001$) from 35 to 53 days of age. These data suggest that the removal of milk feeding by early weaning leads to detrimental effects on health and growth of the young, which were not compensated by a diet meeting better their nutritional needs.

Keywords : Rabbit, Feeding strategy, Weaning age, Digestive health, Growth.

Résumé - Les objectifs de ce travail ont été, dans un premier temps, d'évaluer les exigences nutritionnelles en fibres (expérience 1) et en protéines (expérience 2) des lapereaux sevrés précocement. Dans l'expérience 1, 306 lapereaux sevrés précocement ont été nourris de 23 à 50 jours d'âge avec un des trois aliments expérimentaux contenant un taux de fibres (ADF) croissant (16%, 19% ou 22%). Les fibres ont été substituées par de l'amidon et des lipides pour obtenir trois aliments isoénergétiques. Dans l'expérience 2, 276 lapereaux sevrés précocement ont été nourris de 23 à 50 jours d'âge avec un des trois aliments expérimentaux contenant un taux de protéines brutes (CP) croissant (15%, 18% ou 21%). Les protéines ont été substituées par de l'amidon et des lipides pour obtenir trois aliments isoénergétiques. Ces études révèlent que le taux de fibres et de protéines de l'aliment n'affectent pas la santé des lapereaux. Cependant, de 23 à 36 jours d'âge, nos résultats suggèrent qu'un niveau de fibres et de protéines dans la ration supérieur à 19% et inférieur à 18% respectivement, affectent négativement les performances de croissance des animaux sevrés précocement. Puis, dans un deuxième temps, ce travail a eu pour objectif d'évaluer l'interaction entre l'âge au sevrage (23 vs 35j) et la composition de l'aliment (RD vs RY), sur la santé digestive et les performances de croissance des jeunes lapereaux (expérience 3). L'aliment RD a été formulé pour contenir 17% d'amidon, 16% de fibres et 18% de protéines brutes (en accord avec les besoins nutritionnels des lapines) et l'aliment RY a été formulé pour contenir 11% d'amidon, 16% de fibres et 21% de protéines brutes (en accord avec les besoins nutritionnels des lapereaux). 39 portées de 9 lapereaux ont été affectées à 18 jours d'âge dans l'un des 4 lots expérimentaux selon un schéma factoriel 2x2 : RD23 (n=84 lapins), RY23 (n=86 lapins), RD35 (n=85 lapins) et RY35 (n=74 lapins). L'ingestion et le poids vif ne sont pas affectés par la stratégie alimentaire. Entre 23 et 35 jours d'âge, le taux de mortalité est supérieur dans le lot RY par rapport au lot RD (20,4% vs 6,8% respectivement ; $P<0,05$). Pendant cette période, la croissance est supérieure de 58,4% lorsque les lapereaux sont sevrés à 35 jours par rapport au lapereaux sevrés à 23 jours ($P<0,001$). Après 35 jours d'âge, l'ingestion d'aliment et la vitesse croissance sont supérieures de 10,4% et 9,7% respectivement lorsque les lapereaux sont sevrés à 35 jours comparés à ceux sevrés à 23 jours ($P<0,05$). Par conséquent, le poids vif des

lapereaux sevrés à 35 jours est supérieur à la fois à 35 et 53 jours d'âge (+11,3% and +26,7% respectivement ; $P < 0,001$). Le taux de mortalité est supérieur de 21 points et de 43 points sur les périodes 23-35 jours ($P < 0,001$) et 35-53 jours ($P < 0,001$) lorsque les lapereaux sont sevrés précocement (à 23j). Ces résultats suggèrent que l'arrêt de l'alimentation lactée par la réalisation d'un sevrage précoce réduit la vitesse de croissance et augmente fortement les risques d'apparition de troubles digestifs chez les lapereaux. Ces effets négatifs ne sont pas compensés par un aliment répondant mieux aux exigences nutritionnelles des lapereaux en terme de fibres et de protéines.

Mots clés : Lapin, Stratégie alimentaire, Age au sevrage, Santé digestive, Croissance.

3.3.1 Introduction

In rabbit breeding systems, digestive disorders are the main cause of morbidity and mortality in growing rabbits and induce important economic losses. One of the most important clinical signs is diarrhoea, especially in young rabbits after weaning (Licois, 2004). The mortality rate between birth and sale is close to 25% (Lebas, 2005b). Composition of the food given to young rabbits (from 18 to 30 days of age) influences the digestive physiology development and maturity of the young, as well as their performances and viability (Gidenne and Fortun-Lamothe, 2002). In classical rabbit breeding systems, before weaning the pups have only access to the food distributed to the does. This food is generally highly energetic, to meet the nutritional needs of the lactating females. Mostly, the energy is given in the form of starch. Nevertheless, recent studies show that does and young have antagonistic nutritional requirements. Indeed, young rabbits have a poor capacity for starch digestion and provision of sufficient fibre seems to be important to preserve their digestive health (Gidenne and Fortun-Lamothe, 2002).

Early weaning (<25 days of age) is a simple and efficient method to offer to the young a specific food adapted to their nutritional needs and to limit the body mobilisation of does, induced by milk production (Xiccato et al., 2004a ; Feugier and Fortun-Lamothe, 2005). But the knowledge of nutritional requirements of early weaned rabbits, both for growth and health is insufficient and remains to be improved.

The aims of this study were first to determine nutritional requirements of early weaned kits, more especially protein (experiment 1) and fibre (experiment 2) needs. Secondly, this work aimed to evaluate the interaction between food composition and weaning age on digestive health and growth performance of young rabbits (experiment 3).

3.3.2 *Material and methods*

3.3.2.1 Nutritional needs of early weaned rabbits (experiments 1 and 2)

Animals and experimental design

Litters of primiparous does (New Zealand x Californian) were equalised at birth at nine pups by crossfostering or culling. The suckling rabbits were weighed and weaned at 23 days of age. At weaning, six young from each litter (weight ranks 3,4,5,6,7,8) were housed in the same cage and were assigned to one of the three experimental diets until 50 days of age, according to the does and litter weights and litter size. Health status was evaluated through an individual observation of clinical signs of digestive troubles (diarrhoea, caecal paresis ...). Mortality was daily recorded. Rabbits had free access to water and diet with a controlled light/dark cycle (16h/8h). The following chemical analyses were carried out on foods : fibre (neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL)) according to the sequential method of Van Soest et al. (1991) with an amyolytic pre-treatment and crude fat according to the method described by Alstin and Nilsson (1990). Starch was hydrolysed enzymatically and the resulting glucose released was measured using the hexokinase glucose-6-phosphate dehydrogenase system (D-Glucose[®], Boëhringer Mannheim). Nitrogen was determined according to the DUMAS combustion method using the Leco auto-analyser (model FP-428, Leco Corp., St Joseph, MI, USA) and converted to crude protein using 6.25 as conversion factor.

Experiment 1 : effect of dietary fibre level

At weaning, 51 litters (306 rabbits) were offered one of the three experimental diets until 50 days of age (Table I). Diets were formulated to reach a linear increase in fibre level without change in fibre proportions according to Van Soest procedure (European Group on Rabbit Nutrition, 2001). Thus, the three diets contained 16, 19 and 22% of ADF (group ADF16 no.=17 litters, group ADF19 no.=17 litters, group ADF22 no.=17 litters). Fibre was substituted by starch (15.5, 9.6, 3.2% in ADF16, ADF19, ADF22 diets) and fat (2.5, 4.1, 6.2% in ADF16, ADF19, ADF22 diets) to reach a similar digestible energy (10.0 MJ/Kg) and crude protein level (16.8%). Experimental foods contained an anticoccidial (salinomycin, 25p.p.m.). No antibiotics were administered during the whole experiment, either in food or drinking water.

Table I : Ingredients and chemical composition of the experimental diets of experiments 1, 2 and 3

Diets	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3		
	ADF16	ADF19	ADF22	CP15	CP18	CP21	RD	RY	RF
Ingredients, g/kg									
Barley	280	140	0	220	146	72	160	130	100
Wheat bran	180	245	310	235	254.5	274	110	240	239
Soybean meal	100	95	90	35	115	194.5	95	175	30
Sugar beet pulp	140	180	220	126	123	120	124	85	155
Sunflower meal	80	85	90	46	75.1	105	165	150	160
Straw	30	60	90	85	80	75	35	0	25
Alfalfa	155	149	143	191	155	120	140	175	200
Calcium carbonate	5	2.5	0	2.5	5.25	8	0	4.2	0
Dicalcium phosphate	11	5.5	0	5.5	2.75	0	10	0	0
Salt	6	5.5	5	5	5	5	5	5	5
Vitamin premix	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Salinomycin	5	5	5	5	5	5	10	10	10
L-lysine HCL	1	0.5	0	3.8	1.9	0	0.5	0.2	0.9
DL-Methionine, 99% pure	2	2	2	2.2	2	1	0.5	0.6	0.3
Vegetable oil	0	20	40	33	24.5	15.5	5	0	0
Wheat							120	0	70
Sugar							15	20	0
Chemical composition, %									
Starch	15.5	9.6	3.2	14.3	10.5	7.1	16.8	10.7	13.0
Fat	2.5	4.1	6.2	5.5	4.5	3.9	2.6	2.6	2.6
Neutral Detergent Fibre : N.D.F.	32.3	38.5	44.5	38.3	37.6	37.3	31.8	32.6	37.1
Acid Detergent Fibre : A.D.F.	16.2	18.5	22.1	17.8	17.7	18.5	15.9	16.2	19.5
Lignin	3.7	4.2	5.1	3.6	3.5	3.7	3.5	3.9	4.9
Crude Protein (CP)	16.9	17.0	16.4	14.5	17.6	20.5	17.8	21.2	16.2
Lysine [†]	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0	0.8
Methionine [†]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3
Methionine + Cystine [†]	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0.7	0.6
Digestible Protein (DP) [†]	12.7	12.6	12.5	10.1	13.0	16.0	12.8	15.9	11.6
Digestible Energy (DE) [†] , MJ/kg	9.99	9.97	9.95	9.89	9.95	9.99	10.5	10.6	9.8

[†] According to Sauvant et al. (2002)

Experiment 2 : effect of dietary protein level (CP)

At weaning, 46 litters (276 rabbits) were offered one of the three experimental diets until 50 days of age (Table I), with increasing crude protein level (CP), but containing a similar digestible energy (9.9 MJ/Kg) and fibre level (ADF : 18.0%). Diets were formulated to reach 15, 18 and 21% of crude protein (group CP15, no.=16 litters ; group CP18, no.=15 litters ; group CP21 no.=15 litters). Protein was substituted by starch (14.3, 10.5, 7.1% in CP15, CP18, CP21, diets) and fat (5.5, 4.5, 3.9% in CP15, CP18, CP21 diets). Experimental foods only contained an anticoccidial (salynomycin, 25ppm). At 38 days of age, epizootic rabbit enteropathy was diagnosed and all the rabbits were given an antibiotic in drinking water (bacivet S[®], 0.7g/l) for 5 days.

Data recording

Food intake of the litter, individual weight and sanitary status of young were measured at 23 (weaning), 29, 36, 43, 50 days of age. Food intake was measured per cage and then calculated per animal, considering that a dead rabbit didn't eat the 2 days before its death. Data per cage were taken into account when at least three rabbits were present in the cage.

Data treatment and statistical analysis

Data of the two experiments were independently analysed using the Statistical Analysis Systems Institute package (1999). Quantitative variables were analysed with analysis of variance (GLM procedure) using the diet as fixed effect. Concerning growth rate and live weight, the group effect (animals in the same cage) was added to the model and the effect of diet was tested according to the residual variability between groups (cages). When treatments differed significantly ($P < 0.05$), differences between means were determined using the scheffe test. In experiment 1, contrast method was also used to compare ADF22 group against ADF16+ADF19 groups. Data related to the sanitary status of the animals were analysed with a chi-square test (CATMOD procedure).

3.3.2.2 Experiment 3 : Influence of age at weaning and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits

Animals and experimental design

Thirty nine litters, from primiparous hybrid New-Zealand/Californian does (Strain INRA A0067) were used in the experiment. Two weaning ages (early weaning at 23 days of age and conventional weaning at 35 days) and two foods (RD and RY) were compared in a 2 x 2 factorial design. At 18 days of age, litters were assigned to one of the four experimental groups : RD23 (no.=84 rabbits), RD35 (no.=85 rabbits), RY23 (no.=86 rabbits) and RY35 (no.=74 rabbits) according to the body weight of the doe, litter size and litter weight.

The litters were equalised at nine pups at birth by crossfostering or culling. There was a controlled light/dark cycle (16h/8h) and young had free access to water.

In order to reduce difference in rearing conditions among experimental groups, pups weaned at 23 days of age were reared collectively by litter (nine young per cage) until 35 days of age. At 35 days after parturition, the young of all groups were moved to fattening cages with five pups per cage. At this moment, the pups were reassigned according to their weight and sanitary status, avoiding litter effect.

Foods

Until weaning, the litters stayed with the doe in a special cage, allowing the distribution of solid food separately to does and young (Fortun-Lamothe *et al.* 2000). Does were given the same commercial diet in all groups (DE : 10.57 MJ/kg). Between 18 and 35 days of age, the young had ad libitum access to experimental foods (RD or RY). RD diet was formulated according to the nutritional requirements of breeding does in agreement with De Blas and Mateos (1998). RY was formulated to meet requirements of the young, taking into account the results of experiments 1 and 2 concerning ADF and CP levels. Waste of food was controlled. From 35 days onwards a fattening diet, meeting the requirements of fattening rabbits (RF ; Maertens, 1992), was given ad libitum to all groups. The three experimental diets (RD, RY and RF diets) were made at the research unit. The same chemical analyses as in experiment 1 and 2 were carried out on foods (see Material and methods).

The ingredients and nutritional composition of the experimental foods are listed in Table I. The diets RD and RY had the same fibre (ADF =16%) and DE (10.5 MJ/Kg) contents. They differed on their contents of crude protein (17.8% and 21.2% in RD and RY diets, respectively) and starch (16.8% and 10.7% in RD and RY diets, respectively).

Data recording

Individual weight, health status and food intake of pups were recorded at 23 days after kindling (early weaning), 29 days, 35 days (conventional weaning) and at 43 and 53 days after kindling. Food intake was measured per cage and then calculated per animal, taking into account that a dead rabbit didn't eat the two days before its death (ingestion was recorded for a cage each time a rabbit, older than 18 days, died). A high mortality occurred during the experiment (see Results 3.3.3.2) and data of food intake and growth were taken into account when at least five rabbits, for the period 23 to 35 days, or two rabbits, for the period 35 to 53 days, were present in the cage.

Health status was evaluated through an individual observation of clinical signs of digestive troubles (diarrhoea, caecal paresis ...). Mortality was measured daily. Experimental diets only contained an anticoccidial (Salynomycin, 25ppm). No antibiotics were given during the trial.

Statistical analyses

All data were analysed using the Statistical Analysis Systems Institute Package (1999). Individual weight, growth and food intake were analysed using analysis of variance (GLM-procedure) using a 2 x 2 factorial model including the effects of weaning age, feeding strategy and the interaction between weaning age and feeding strategy. Concerning growth rate and live weight, the group effect (animals in the same cage) was added to the model and the effect of diet and weaning age were tested according to the residual variability between groups (cages). No significant interaction between weaning age and feeding strategy was recorded for all measured parameters. When treatments differed significantly ($P < 0.05$) differences between means were determined using the Scheffe test. Morbidity and mortality were analysed with a chi-square test (CATMOD procedure).

3.3.3 Results

3.3.3.1 Nutritional needs of early weaned rabbits (experiments 1 and 2)

Experiment 1 : food intake and growth performance

Increasing the fibre level in the diet offered to early weaned rabbits tended to negatively affect growth rate from 23 to 36 days of age ($P < 0.10$; Table II). Indeed, this latter was 7.7% reduced when dietary fibre level increased over 19% (contrast ADF16 + ADF19 groups vs

ADF22 group ; $P < 0.001$). On the other hand, the ADF level did not affect food intake and food conversion ratio from 23 to 36 days.

From 36 to 50 days of age the dietary fibre level did not affect growth rate. But food intake was higher in ADF22 group compared with the two other groups (+10.4% ; $P < 0.05$). Consequently, food conversion ratio from 36 to 50 days of age was higher in ADF22 group than in the two other groups (+11.4% ; $P < 0.05$).

Table II : Effect of the dietary fibre level on growth performances of early weaned rabbits (experiment 1)

	ADF 16	ADF 19	ADF 22	P-value	RMSE
Period 23-36 d					
Live weight at 23 d, g	393	394	397	0.950	26.80
<i>No.1</i>	102	102	102		
Live weight at 36 d, g	867	866	836	0.457	92.87
<i>No.1</i>	99	98	101		
Growth rate, g/d/rab [†]	36.6	36.4	33.7	0.090	6.50
<i>No.1</i>	99	98	101		
Food intake, g/d/rab	51.5	50.1	50.4	0.800	6.60
<i>No.2</i>	17	16	17		
Food conversion rate	1.53	1.41	1.39	0.169	0.25
<i>No.2</i>	17	16	17		
Period 36-50 d					
Live weight at 50 d, g	1507	1508	1468	0.738	195.84
<i>No.1</i>	91	82	87		
Growth rate, g/d/rab	45.3	44.6	45.4	0.793	11.72
<i>No.1</i>	91	82	87		
Food intake, g/d/rab	93.0 ^a	96.2 ^a	104.4 ^b	0.012	11.38
<i>No.2</i>	17	15	15		
Food conversion rate	2.11 ^a	2.09 ^a	2.34 ^b	0.038	0.29
<i>No.2</i>	17	15	15		

No.1 : number of rabbits

No.2 : number of cages

[†] : contrast ADF16 + ADF19 vs ADF22 ; $P < 0.001$

Experiment 1 : health status

From 23 to 36 days of age, mortality and morbidity rate were very low (<3% and <4%, respectively) in all the groups (Table III). Mortality increased sharply after 35 days of age but there was no significant influence of the dietary fibre level on health status of animals during the whole trial.

Table III : Effect of the dietary fibre level on health status of early weaned rabbits (experiment 1)

	ADF 16	ADF 19	ADF 22	P-value
Period 23-36 d				
<i>No. of rabbits</i>	102	102	102	
Mortality, %	2.9	3.9	1.0	0.454
Morbidity, %	1.0	6.9	2.0	0.076
Period 36-50 d				
<i>No. of rabbits</i>	99	98	101	
Mortality, %	8.1	16.3	13.9	0.215
Morbidity, %	8.1	14.3	6.9	0.182

Experiment 2 : food intake and growth performance

Decreasing the protein level of the diet offered to early weaned rabbits under 18% reduced their growth rate from 23 to 36 days (-15% in CP15 group vs CP18 and CP21 groups : $P < 0.05$; Table IV) and from 36 to 50 days (-15.5% in CP15 group vs CP18 and CP21 groups : $P < 0.05$). Consequently, the live weight of rabbits at 50 days of age was 12% lower in CP15 group than in the two other groups ($P < 0.05$). This effect was mainly explained by a lower food intake when dietary protein level decreased from 23 to 36 days of age ($P < 0.05$) and a lower food intake from 36 to 50 days of age in CP15 group than in the two other groups (-20.3% ; $P < 0.05$). Food conversion ratio was not affected by the dietary protein level from 23 to 36 days of age, but was higher from 36 to 50 days of age when the dietary crude protein level increased ($P < 0.01$).

Table IV : Effect of the dietary protein level on growth performances of early weaned rabbits (experiment 2)

	CP 15	CP 18	CP 21	P-value	RMSE
Period 23-36 d					
Live weight at 23 d, g	356	347	355	0.778	31.97
<i>No.1</i>	96	90	90		
Live weight at 36 d, g	807	859	901	0.061	109.15
<i>No.1</i>	96	89	89		
Growth rate, g/d/rab	34.6 ^a	39.4 ^b	42.0 ^b	0.008	7.47
<i>No.1</i>	96	89	89		
Food intake, g/d/rab	48.4 ^a	54.0 ^{ab}	58.1 ^b	0.014	8.80
<i>No.2</i>	16	15	15		
Food conversion rate	1.40	1.38	1.39	0.666	0.09
<i>No.2</i>	16	15	15		
Period 36-50 d					
Live weight at 50 d, g	1354 ^a	1522 ^b	1546 ^b	0.015	210.05
<i>No.1</i>	70	62	71		
Growth rate, g/d/rab	38.6 ^a	45.8 ^b	45.6 ^b	0.025	11.26
<i>No.1</i>	70	62	71		
Food intake, g/d/rab	81.1 ^a	98.2 ^b	105.4 ^b	0.012	19.15
<i>No.2</i>	12	11	12		
Food conversion rate	2.07 ^a	2.13 ^{ab}	2.31 ^b	0.006	0.180
<i>No.2</i>	12	11	12		

a, b, c Means with different letters differed at P<0.05

No.1 : number of rabbits

No.2 : number of cages

Experiment 2 : health status

During the two weeks following weaning (23 to 36 days of age), the morbidity rate was high (32%) but mortality remained very low in all the groups (1%). Morbidity was associated with digestive disorders (weak diarrhoea with mucus and abdominal swelling). Mortality sharply increased from 36 days of age due to epizootic rabbit enteropathy. But there was no significant influence of the dietary protein level on health status of animals during the whole experiment (Table V).

Table V : Effect of the dietary protein level on health status of early weaned rabbits (experiment 2)

	CP 15	CP 18	CP 21	P-value
Period 23-36 d				
<i>No. of rabbits</i>	96	90	90	
Mortality, %	0	1.1	1.1	0.584
Morbidity, %	33.3	33.3	28.9	0.796
Period 36-50 d				
<i>No. of rabbits</i>	96	89	89	
Mortality, %	27.1	30.3	20.2	0.294
Morbidity, %	16.7	13.5	14.6	0.827

3.3.3.2 Influence of age at weaning and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits (experiment 3)

Food intake and growth performance

From 23 to 35 days after kindling solid food intake was affected neither by feeding strategy nor weaning age (Table VI). During this period growth rate tended to be higher in RY group than RD group (+11% ; P=0.071). From 23 to 35 days and from 35 to 53 days after kindling, growth rate was 58.4% (P<0.001) and 9.7% (P<0.05) higher respectively in conventionally weaned than in early weaned rabbits (Table 6). Consequently live weight at 35 days and at 53 days were 26.7% (P<0.001) and 11.3% (P<0.001) higher respectively in conventionally weaned than in early weaned rabbits. On the whole period, live weight was not influenced by feeding strategy. After 35 days of age, conventional weaned rabbits had a food intake 10.4% higher than early weaned rabbits (P<0.05). Feeding strategy before the age of 35 days did not influence the food intake and the growth rate after this age.

Table VI : Effect of early weaning and feeding strategy on growth performances (experiment 3)

Groups	Weaning age		Feeding strategy			P-value	
	23	35	RY	RD	RMSE	Weaning age	Feeding strategy
Period 23-35 d							
Live weight at 23d, g	338.7	341.2	341.4	338.4	35.06	0.963	0.992
<i>No.1</i>	164	154	157	161			
Live weight at 35d, g	669.8	848.9	794.5	744.5	98.72	<0.001	0.260
<i>No.1</i>	126	150	125	151			
Growth rate, g/d/rab	26.7	42.3	37.2	33.5	7.5	<0.001	0.071
<i>No.1</i>	126	150	125	151			
Food intake, g/d/rab	38.3	35.8	36.8	37.1	8.18	0.339	0.980
<i>No.2</i>	17	19	16	20			
Period 35-53 d							
Live weight at 53d, g	1465.8	1631.5	1591.3	1575.4	235.40	<0.001	0.619
<i>No.1</i>	52	125	82	95			
Growth rate, g/d/rab	39.0	42.8	41.1	42.2	13.59	0.019	0.967
<i>No.1</i>	52	125	82	95			
Food intake, g/d/rab	95.7	105.7	102.7	102.0	13.57	0.024	0.481
<i>No.2</i>	15	29	21	23			

No.1 : number of rabbits

No.2 : number of cages

Health status

Both weaning age and feeding strategy influenced health status of rabbits (Table VII), but no significant interaction between these parameters was recorded.

Between 23 and 35 days after kindling, mortality was higher in RY group than RD group (20.4% vs. 6.8% respectively; $P < 0.05$). On the other hand, food had no significant effects on morbidity during this period. Pups weaned at 23 days of age had a mortality rate 21 points higher than pups weaned at 35 days ($P < 0.001$). Between 23 and 35 days of age, morbidity was also significantly higher in early weaned group than conventional weaned group (32.9% vs. 4.0% respectively ; $P < 0.001$).

Between 35 and 53 days of age, no food effect occurred for all measured parameters concerning health status. During this period, weaning age did not influence morbidity, but still affected mortality. Indeed from 35 to 53 days of age, mortality rate was 43 points higher in rabbits weaned at 23 days compared with conventionally weaned rabbits.

Table VII : Effect of early weaning and feeding strategy on health status (experiment 3)

Groups	Weaning age		Feeding strategy		P-value	
	23	35	RY	RD	Weaning age	Feeding strategy
Period 23-35 d						
<i>No. of rabbits</i>	164	154	157	161		
Mortality, %	23.8	2.6	20.4	6.8	<0.001	0.040
Morbidity, %	32.9	4.0	14.7	23.0	<0.001	0.148
Period 35-53 d						
<i>No. of rabbits</i>	120	145	120	145		
Mortality, %	56.7	13.8	31.7	34.5	<0.001	0.636
Morbidity, %	10.8	8.3	8.3	10.3	0.627	0.574

3.3.4 Discussion

Few reports deal with the impact of diet on health status and growth performance of early weaned rabbits, or with the effect of age at weaning on health status and growth performance of young rabbits. The original purpose of this paper was to link up the results of 2 studies, concerning fibre and protein requirements of early weaned rabbits, with a third experiment dealing with the interaction between weaning age and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits.

3.3.4.1 Effect of diet

The first experiment of this paper showed that variation of dietary fibre level for a range from 16 to 22% of ADF did not affect health status of early weaned rabbits from 23 to 50 days of age. However, within the same range of dietary ADF, numerous experiments have shown that there is a good relationship between dietary fibre level and the incidence of digestive disorders after conventional weaning (between 28 and 35 days of age, Gidenne, 1997 and 2003). Indeed, Gidenne (2003) showed that the sanitary risk (SR = mortality + morbidity) increased from 18 to 28% when the dietary ADF content decreased from 19 to 15%. This suggests that fibre requirements of early weaned differ from conventionally

weaned rabbits. Therefore, it would be interesting to study the relationships between diet given around weaning and maturation of the digestive function of rabbit.

On the other hand, our results suggested that decreasing the starch/fibre ratio in the diet around early weaning tended negatively to affect growth rate from 23 to 36 days of age, but a compensatory growth occurred thereafter so that the pre-weaning treatment did not impair the live weight at 50d of age. Debray et al (2002) and Morisse et al (1989) found similar effect in conventionally weaned rabbits. The second experiment of this paper showed that an increase of dietary protein level from 15 to 21% didn't affect health status of early weaned rabbits, and improved their food intake and growth rate. This positive relationship between dietary protein level and growth rate was previously shown in conventionally weaned rabbits (Maertens et al, 1997). Lastly, the results of experiment 3 showed that a higher dietary protein level (from 18 to 21%) increased the mortality of young before 35 days of age. Several hypotheses could be formulated to explain this effect. For example, an overload of dietary protein and/or a higher soybean meal level in RY than in RD diet could have affected the health status. On this last point, Gutiérrez et al. (2003) previously showed that source of protein in the diet influences the digestibility of diet and the viability of early-weaned rabbits. Indeed, sunflower meal and concentrates of soybean protein were more digestible than soybean meal or concentrates of protein from potatoes (Gutiérrez *et al.*, 2002). However, the effect of dietary protein level on health status between 23 and 35 days of age have to be confirm on a large number of animals as in classically weaned rabbit using a network of research units (Gidenne et al., 2003). Nutritional requirements of early weaned rabbits for their digestive health need to be studied further, since they differ from those of conventionally weaned rabbits.

3.3.4.2 Effect of early weaning

Previous results showed that early weaned rabbits ingest more solid food after weaning than suckling rabbits of the same age, to compensate for the lack of milk (Xiccato et al., 2000; Gallois et al., 2005). During the fattening period (after 42 days of age) food intake became similar in early and conventionally weaned rabbits (Gallois et al., 2005). Fortun-Lamothe et al. (2001) hypothesised that animals early adapted to solid food intake would maintain a higher food intake during the growth period. Our study does not support this hypothesis, since early weaned rabbits did not show a higher solid food intake than suckling rabbit between 23 to 35 days of age and even had a lower food intake than conventionally weaned rabbits during

the fattening period. However in our experiment, such a result could be explained by a lower sanitary status of early weaned compared with conventionally weaned rabbits.

Some studies noticed no effect of early weaning on health status (Piattoni et Maertens, 1999 ; Xiccato et al., 2000). Nevertheless, recent studies have shown a higher mortality during the fattening period in early than in later weaned rabbits (Gidenne and Fortun-Lamothe, 2004). Our study also showed a strong negative effect of early weaning on health status, both just after weaning and also in the late fattening period. Weaning age had a stronger effect on health status than feeding strategy. Moreover, our work suggested that early weaning was a worsening factor under enteropathy pressure. These effects on health status need to be confirmed on a large number of animals.

In accordance with other studies, a lower growth rate in early weaned rabbits was seen during the post-weaning period (Xiccato et al, 2000; Gidenne and Fortun-Lamothe, 2004; Gallois et al, 2005). This resulted in a difference in live weight at the beginning of the fattening period. In contrast with mentioned studies above, no compensatory growth occurred in early weaned rabbits during the fattening period, resulting in a lower final live weight in early weaned rabbits than in conventionally weaned rabbits. The difficult sanitary status of early weaned rabbits in our experiment could still be involved in this difference with previous results reported in literature.

3.3.5 Conclusion

The dietary fibre or protein level does not seem to affect the digestive health of early weaned rabbits while it influences growth rate. Indeed, the fibre and crude protein levels should remain under 19% and over 18% respectively to optimise growth rate. However, further studies are needed to know more precisely the digestive efficiency of early weaned rabbits.

Early weaning increased the susceptibility of rabbits towards digestive disorders after weaning and this consequently affect food intake and growth. The feeding strategy chosen for young rabbit had a weak and only a transient effect on their performances. Milk intake seemed very beneficial for health and growth of young, even after 3 weeks of age. Early milk removal is not compensated for, subsequently. However, our knowledge on nutritional needs of the young rabbits is presently relatively poor and should be improved in order to optimise food formulation.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the technical team of “Station de Recherches Cunicoles” (INRA Toulouse, France) and “Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques” (INRA Le Magneraud, France). This study was supported by INRA and Région Poitou Charentes.

REFERENCES

Alstin, F., and M. Nilsson. 1990. Le système d'hydrolyse Soxtec[®] améliore les méthodes officielles de dosage des matières grasses totales. *Ind. Aliment. Agric.* 107 : 1271-1274.

De Blas, J.C., and G.G. Mateos. 1998. Feed formulation. In *The nutrition of the rabbit* (Eds De Blas, J.C., and J. Wiseman,), pp. 241-253. CABI publishing, CABInt., Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK.

Debray, L., L. Fortun-Lamothe and T. Gidenne, 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.

European Group on Rabbit Nutrition (EGRAN). 2001. Technical note : Attempts to harmonise chemical analyses of feeds and faeces for rabbit feed evaluation. *World Rabbit Sci.*, 9:57-64.

Feugier, A., and L. Fortun-Lamothe. 2005. Reduction of the reproductive rhythm and lactation length improves body condition and fertility of rabbit does. Page 33 in Proc. Joint scientific meeting workgroup 1 and 2. COST Action 848, Palermo, Italy.

Fortun-Lamothe, L., T. Gidenne, A. Lapanouse, and J. De Dapper. 2000. Technical note : an original system to separately control litter and female feed intake without modification of the mother-young relations. *World Rabbit Sci.* 8 (4): 177-180.

Fortun-Lamothe, L., T. Gidenne, L. Debray, and F. Chalaye. 2001. Intake regulation, performances and health status according to feeding strategy around weaning. Proc. 2nd Meeting of workgroup 3 and 4. COST Action 848. Gödöllő, Hungary, p40-41.

Gallois, M., T. Gidenne, L. Fortun-Lamothe, I. Le Huerou-Luron, and J.P. Lalles. 2005. An early stimulation of solid feed intake stimulation slightly influences the morphological gut maturation in the rabbit. *Reprod. Nutr. Dev.* 45:109-122.

Gidenne, T., 1997. Caeco-colic digestion in the growing rabbit : impact of nutritional factors and related disturbances. *Livest. Prod. Sci.* 51: 73-88.

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.

Gidenne, T., A. Feugier, N. Jehl, P. Arveux, P. Boisot, C. Briens, E. Corrent, H. Fortune, S. Montessuy, S. Verdelhan. 2003. Un rationnement alimentaire quantitatif post-sevrage permet de réduire la fréquence des diarrhées, sans dégradation importante des performances de croissance: résultats d'une étude multi-site. In : ITAVI (Ed.) *10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 19-20/11/2003, 29-32.

Gidenne, T., and L. Fortun-Lamothe. 2002. Feeding strategy for young rabbits around weaning : a review of digestive capacity and nutritional needs. *Anim. Sci.* 75: 169-184.

Gidenne, T., and L. Fortun-Lamothe. 2004. Growth, health status and digestion of rabbits weaned at 23 or 32 days of age. Pages 846-852 in Proc. 8th World Rabbit Congress, Eds. WRSA, Puebla, Mexico,.

Gutiérrez, I., A. Espinosa, Garcia, R. Carabano, and J.C. De Blas. 2002. Effects of starch and protein sources, heat processing and exogenous enzymes in starter diets for early-weaned rabbits. *Anim. Feed. Sci. Technology* 98: 175-186.

Gutiérrez, I., A. Espinosa, Garcia, R. Carabano, J.C. De Blas. 2003. Effect of protein source on digestion and growth performance of early-weaned rabbits. *Anim. Res.* 52: 461-471.

Lebas, F. 2005b. Productivité et rentabilité des élevages cuniques professionnels en 2003. *Cuniculture Magazine* 32 : 14-17. Online Available :

<http://www.cuniculture.info/Docs/Magazine/Magazine2005/mag32-014.htm>

Accessed Oct. 1, 2005.

Licois, D., 2004. Domestic rabbit enteropathies. 8th World Rabbit Congress, September 7-10, 2004, Puebla, Mexico, p385-386.

Maertens, L. 1992. Rabbit nutrition and feeding: a review of some recent developments. *J. Appl. Rabbit Res.* 15: 889-913.

Maertens, L., F. Luzi, and G. De Groot, 1997. Effect of dietary protein and amino acids on the performance, carcass composition and N-excretion of growing rabbits. *Ann. Zootech.* 46: 255-268.

Morisse, J.P., R. Maurice, G. Le Gall, and E. Boilletot, 1989. Intérêt zootechnique et sanitaire d'un aliment de pré-sevrage chez le lapereau. *Revue de Médecine vétérinaire* 140: 501-506.

Piattoni, F., and L. Maertens. 1999. Effect of weaning age and solid feed distribution before weaning on the caecal fermentation pattern of young rabbits. 11. Arbeitstagung über Haltung und Krankheiten der Kaninchen, Pelztier und Heimtiere, Celle, pp 97-105, Ed. Deutsche Vet. Med. Gesellschaft e. V., Giessen.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74 : 3583-3597.

Sauvant, D., J.M. Perez, and G. Tran. 2002. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage.* INRA Ed., 301 p.

Statistical Analysis System, 1999. *SAS User's Guide, version 8,* SAS Institute Inc., Cary, NC.

Xiccato, G., A. Trocino, A. Sartori, and P.I. Queaque. 2000. Early weaning of rabbits: effect of age and diet on weaning and post-weaning performance. In *7th World Rabbit Congress* (ed. A Blasco) vol. C, pp 483-490, Eds. WRSA Congress, Valence, Spain.

Xiccato, G., A. Trocino, A. Sartori, and P.I. Queaque. 2004a. Effect of parity order and litter weaning age on the performance and body energy balance of rabbit does. *Livest. Prod. Sci.* 85: 239-251.

3.4 Chapitre 3 : Influence du rythme de reproduction et de l'âge au sevrage sur les performances de reproduction et l'état corporel des lapines pendant 4 cycles de reproduction

3.4.1 Introduction

La lactation étant une fonction extrêmement coûteuse en énergie, la balance énergétique des lapines allaitantes est déficitaire pendant cette période. En effet, elles n'ingèrent pas une quantité d'aliment suffisante pour couvrir leurs besoins liés à la production de lait et à l'entretien (Xiccato, 1996). Cette intense sollicitation nutritionnelle se traduit par une mobilisation corporelle importante (Pascual, 2001 ; Fortun-Lamothe, 2005). Aucune stratégie alimentaire disponible à ce jour ne permet d'annuler ce déficit (Pascual et al., 2003). En revanche, des études récentes montrent que le management de la reproduction est une voie efficace de modulation du bilan énergétique (Parigi Bini et al., 1996 ; Castellini et al., 2003 ; Xiccato et al., 2004a ; Feugier et Fortun-Lamothe, 2006). Dans les systèmes d'élevages cynicoles actuels, le sevrage des lapereaux est réalisé à 35 jours et les femelles sont inséminées 11 jours après la parturition. Lors de l'insémination, elles allaitent donc la portée précédente et superposent ainsi gestation et lactation pendant plus de la moitié du cycle de reproduction ce qui entraîne des besoins nutritionnels difficiles à satisfaire. Cette situation accentue la sollicitation nutritionnelle des lapines, et peut réduire la durée de leur carrière productive (leur longévité), souvent jugée insuffisante dans les élevages (taux de renouvellement annuel : 108% ; Lebas, 2005a). De plus, un bilan énergétique négatif lié à la production de lait au moment de l'insémination diminue les performances de reproduction (Fortun-Lamothe et al., 1999 ; Fortun-Lamothe, 2005, Feugier et Fortun-Lamothe 2006).

Il semble donc intéressant de proposer des méthodes d'élevage qui permettent de limiter le déficit énergétique des femelles dans le temps et les inconvénients qui lui sont associés (fertilité, prolificité, état corporel). Nos résultats précédents ont montré que la combinaison d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation améliore les performances de reproduction et l'état corporel des femelles primipares (Feugier et Fortun-Lamothe, 2006, Chapitre 1). Cependant, une autre étude révèle qu'un sevrage précoce réalisé à 23 jours d'âge peut altérer les performances de croissance et la santé des lapereaux (Feugier et al., 2006, Chapitre 2).

L'objectif de cette expérience est tout d'abord de comparer les performances de reproduction et l'évolution de l'état corporel des lapines soumises à deux conduites d'élevage

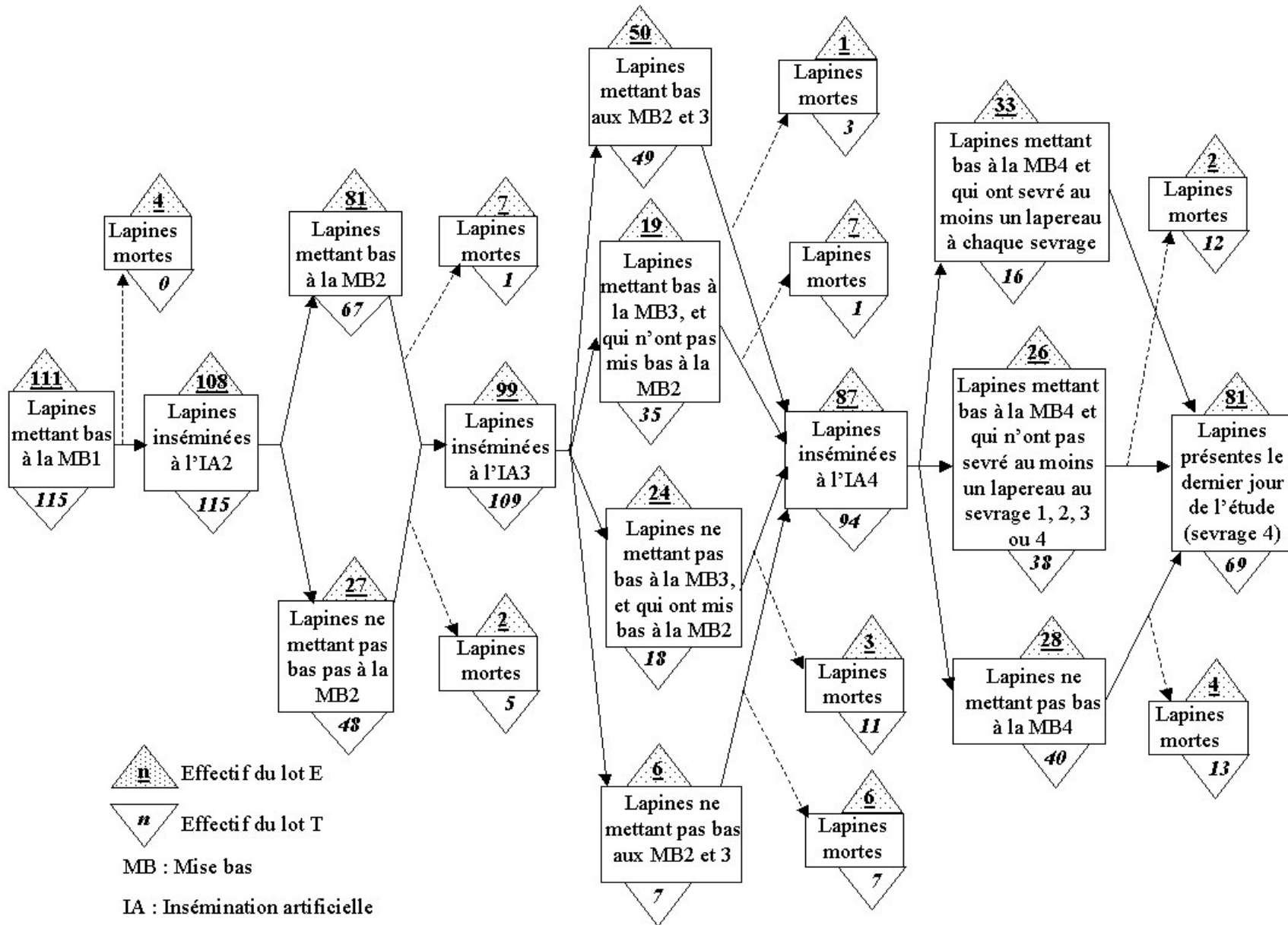
pendant 4 cycles de reproduction, sans renouvellement du cheptel. Dans cette expérimentation, la conduite de référence (insémination réalisée 11 jours après la mise bas et un sevrage à 35 jours) est comparée à une conduite plus extensive pour les femelles (insémination réalisée 2 jours après un sevrage précoce à 23 jours). Dans un deuxième temps, l'objectif est d'évaluer l'influence de ces deux conduites sur la croissance et la santé des lapereaux. Pour cela, les performances des lapereaux issus du quatrième sevrage ont été suivis.

3.4.2 Matériel et méthodes

3.4.2.1 Animaux et schéma expérimental

L'expérience s'est déroulée sur le site expérimental INRA du Magneraud (unité EASM). Elle porte sur 226 femelles de type A0067, âgées de 154 jours et d'un poids vif moyen de 4004 ± 376 g à la première parturition. Immédiatement après la première parturition, les femelles ont été réparties dans l'un des deux lots expérimentaux qui diffèrent par le rythme de reproduction et l'âge au sevrage. Dans le lot témoin (T ; n=115), les femelles sont conduites avec un rythme de reproduction de 42 jours (insémination 11 jours après chaque parturition) et les lapereaux sont sevrés à 35 jours d'âge. Dans le lot expérimental (E ; n=111), les femelles sont conduites avec un rythme de reproduction de 56 jours (insémination 25 jours après chaque parturition) et les lapereaux sont sevrés à 23 jours d'âge. Les flux de lapines au cours de l'expérience ont été représentés graphiquement pour les deux lots expérimentaux (Figure I).

Figure I : Représentation des flux de lapines au cours de l'expérience



La mise en lot a été réalisée en fonction du poids vif de la femelle, du poids et de la taille de la portée (nés vivants) à la première parturition. Les femelles ont été suivies pendant 4 cycles de reproduction, c'est-à-dire jusqu'au sevrage de la 4^{ème} portée (voir Tableau I). Le lendemain de ce 4^{ème} sevrage, toutes les femelles ont été abattues pour évaluer leur état corporel.

Tableau I : Planning de l'expérimentation

		Lot T	Lot E
Cycle 1	IA1	22/07/05	22/07/05
	MB1	22/08/05	22/08/05
	SEV1	26/09/05	14/09/05
Cycle 2	IA2	02/09/05	16/09/05
	MB2	03/10/05	17/10/05
	SEV2	07/11/05	09/11/05
Cycle 3	IA3	14/10/05	11/11/05
	MB3	14/11/05	12/12/05
	SEV3	19/12/05	04/01/06
Cycle 4	IA4	25/11/05	06/01/06
	MB4	26/12/05	06/02/06
	SEV4	30/01/06	01/03/06
Suivi des lapereaux	63 jours	27/02/06	10/04/06

IA : Insémination artificielle
 MB : Mise bas
 SEV : Sevrage

Les inséminations artificielles ont été réalisées le matin avec 0,5 ml d'un mélange hétérospermique provenant de chez Grimaud Frères S.A.. Immédiatement après l'insémination, l'ovulation a été induite par une injection de 0,2 ml de GnRH (Réceptal®). Aucune hormone ou technique de biostimulation n'a été utilisée pour induire la réceptivité des lapines. Les portées ont été égalisées par adoption ou élimination à 8 lapereaux à la 1^{ère} parturition, puis 9 lapereaux pour les parturitions suivantes. Chaque femelle était logée en cage individuelle sous lumière contrôlée (cycle jour/nuit : 16 h/8 h) et avait un accès à volonté à l'eau de boisson et à l'aliment. Au cours de l'expérience, les femelles ont été nourries avec un aliment commercial ne contenant pas d'antibiotique (contenant un anticoccidien,

Robénidine 60 ppm) et répondant aux besoins nutritionnels des lapines reproductrices (ED : 10,54 MJ/kg, MAT : 176g/kg, ADF : 178g/kg, Amidon : 152 g/kg ; De Blas et Mateos, 1998). La consommation d'aliment a été contrôlée du 14^{ième} au 21^{ième} jour après la parturition pour chaque cycle de reproduction. Aucun rationnement n'a été pratiqué pendant l'expérimentation. Pour chaque cycle, le poids des lapines a été mesuré à la mise bas, le 14^{ième} jour de la lactation et les jours de sevrage.

A la première parturition, des staphylocoques hémolytiques (*Staphylococcus haemolyticus*) ont été observés sur les lapereaux. A des fins curatives, un antibiotique a été administré à toutes les femelles par injection (Micotil[®] 1ml / femelle) à chaque parturition. Puis, une Klebsiellose (*Klebsiella pneumoniae*) a été diagnostiquée sur les lapereaux et les femelles et un traitement antibiotique a été administré dans l'eau de boisson (Transgram[®] 0,6 g/l et Bacivet S[®] 0,7 g/l, deux fois cinq jours). A chaque parturition l'hygiène du nid a été renforcée par l'emploi de talcs antiseptiques.

3.4.2.2 Les performances de reproduction des lapines

Le jour de l'insémination, la réceptivité sexuelle des lapines a été évaluée à partir de la couleur et de la turgescence de la vulve conformément à Rodriguez et Ubilla (1988). Deux catégories de lapines ont été établies : les lapines réceptives (vulve rouge ou violette et turgescence) et les lapines non-réceptives (vulve blanche ou rose et non turgescence). Le taux de réceptivité est défini ainsi :

Taux de réceptivité = (Nombre de femelles réceptives) x100 / (Nombre de femelles inséminées)

Douze jours après l'insémination, le taux de gestation a été déterminé par une palpation abdominale. Le taux de gestation est défini ci-après :

Taux de gestation = (Nombre de femelles palpées positives) x100 / (Nombre de femelles inséminées).

A la parturition, le taux de fertilité a été évalué. Le taux de fertilité par rapport au taux de gestation renseigne sur les échecs potentiels qui peuvent avoir lieu lors de la deuxième moitié de la gestation. Il est défini ci-dessous :

Taux de fertilité = (Nombre de femelles mettant bas) x100 / (Nombre de femelles inséminées).

Le poids et la taille des portées ont été mesurés à chaque parturition, le 10^{ième} et le 23^{ième} jour après chaque parturition (sevrage du lot E). De plus, le poids et la taille de portée des femelles du lot T ont été contrôlés le jour du sevrage.

La production laitière des lapines pendant les 23 premiers jours de lactation a été calculée à partir du gain de poids des lapereaux sur cette période (Fortun-Lamothe et Sabater, 2003).

Plusieurs critères globaux renseignant sur l'efficacité des deux conduites étudiées ont été calculés.

La productivité est un critère global qui peut se rapporter au poids (productivité pondérale) ou au nombre (productivité numérique) de lapereaux produits. La productivité tient ainsi compte de la fertilité des femelles et de la mortalité des lapereaux. Afin de pouvoir comparer les deux groupes expérimentaux entre eux, nous avons choisi la productivité à 23 jours de lactation. La productivité est ainsi définie :

Productivité pondérale (lap/fem) = (Nombre de lapereaux produits à 23 jours) / (Nombre de lapines inséminées)

Productivité numérique (Kg/fem) = (Poids des lapereaux produits à 23 jours) / (Nombre de lapines inséminées)

Dans cette expérience les productions sont élaborées à partir de rythmes de reproduction différents, il est donc nécessaire de rapporter ce critère à une unité de temps. Pour cela, la productivité a été pondérée par la durée du cycle de reproduction :

Productivité pondérale annuelle (lap/fem/an) = (Poids des lapereaux âgés de 23 jours produits pendant un an) / (Nombre de lapines inséminées pendant un an)

Productivité numérique annuelle (lap/fem/an) = (Nombre de lapereaux âgés de 23 jours produits pendant un an) / (Nombre de lapines inséminées pendant un an)

Les productivités annuelles ont été estimées à partir de la productivité totale élaborée entre la première parturition et le 23^{ième} jour de la quatrième portée (soit 149 jours pour le lot T et 191 jours pour le lot E).

L'intervalle réel moyen entre deux parturitions (nombre de jours entre la première et la dernière parturition réalisées / nombre de cycles réalisés) et le nombre de femelles ayant

réussi quatre sevrages consécutifs par rapport au nombre de femelles initiales ont également été évalués.

Dans un système d'élevage, la longévité d'un animal correspond à la durée de sa carrière productive (délimitée par une date d'entrée et de sortie du système d'élevage). La date d'entrée correspond à la date d'entrée en production : la première parturition et la date de sortie est calée sur la date de disparition de l'animal. L'étude de la longévité nécessite donc de préciser les causes de disparition de l'animal. En effet, selon Cournut (2001) la majorité des auteurs distinguent deux grands ensembles de réformes : les réformes volontaires (décisions humaines de réformes des individus insuffisamment productifs, exemple : l'infertilité) et les réformes involontaires (la mortalité). Dans cette expérience nous n'avons pas réalisé de réformes volontaires. Nous avons cependant mesuré les variables dont la lecture intervient dans ce type de décision (fertilité, aptitude maternelle, capacité laitière...). Notre étude de la longévité se limite donc à considérer les réformes involontaires par l'analyse du taux de survie. Sur une population non renouvelée d'animaux pendant une période d'étude, il est ainsi défini :

Taux de survie = (Nombre de lapines présentes au début de la période considérée - nombre de femelles réformées involontairement pendant cette période) x 100 / (Nombre de lapines présentes au début de la période considérée)

Sur une population non renouvelée d'animaux, le taux de survie étudié pendant une période d'étude a été estimé sur un an de la manière suivante :

Taux de survie annuel = (Nombre de lapines présentes initialement - ((Nombre de lapines réformées involontairement pendant la période d'étude totale du lot considéré x Nombre de jours par an) / (Durée de la période d'étude totale en jours du lot considéré))) / (Nombre de lapines présentes initialement)

3.4.2.3 Evaluation de l'état corporel des lapines :

La méthode TOBEC

La composition corporelle des lapines (plus particulièrement les réserves énergétiques) a été évaluée *in vivo* le 14^{ième} jour après chaque parturition à l'aide de la méthode TOBEC (Total Body Electrical Conductivity). Son utilisation a été validée récemment chez la lapine reproductrice (Fortun-Lamothe et al., 2002). Cette méthode repose sur une mesure de

conductivité corporelle. Le poids vif de l'animal couplé à la valeur TOBEC mesurée permet d'estimer sa composition.

L'abattage

Toutes les lapines ont été abattues le lendemain du sevrage de la 4^{ième} portée. Elles ont été pesées juste avant l'abattage et saignées après dislocation cervicale. A l'abattage, le poids de la carcasse dégraissée, du tractus digestif, de la peau, des reins, de la vessie, des principaux tissus adipeux dissécables (gras interscapulaire et périrénal), et du tractus génital ont été mesurés. L'appareil digestif et la vessie ont également été pesés vides. Le poids vif vide a été défini comme la différence entre le poids vif et les contenus du tube digestif et de la vessie.

3.4.2.4 Performances zootechniques des lapereaux :

Après le quatrième sevrage (à 23 ou 35 jours), tous les lapereaux (n=748) ont été suivis jusqu'à 63 jours d'âge. Les lapereaux (lot T, n=306 et lot E, n=442) ont été répartis par cage de 6 animaux et mélangés entre portées d'un même lot. Le nom des lots est identique à celui des femelles dont les lapereaux sont issus. Les cages sont constituées d'animaux de poids similaires (cages d'animaux de poids élevé, intermédiaire ou faible). Afin de limiter les risques sanitaires, les animaux morbides atteints de troubles digestifs au sevrage ont été regroupés par lot au sein de mêmes cages. Au cours de ce suivi en engraissement, les lapereaux ont été nourris avec un aliment commercial sans antibiotique (contenant un anticoccidien, Salinomycine 20 ppm) répondant aux besoins nutritionnels des lapins en engraissement (ED : 10,04 MJ/kg, MAT : 166g/kg, ADF : 194g/kg, Amidon : 135g/kg ; Maertens, 1992). Aucun traitement antibiotique n'a été administré pendant la période étudiée. Le poids individuel et l'état sanitaire des lapereaux ont été enregistrés au sevrage, à 35 jours (lot E), à 50 et à 63 jours d'âge. L'état sanitaire a été évalué individuellement par une observation minutieuse de l'état général de l'animal et des signes cliniques associés aux troubles digestifs en particulier (diarrhée, parésie cæcale ...). La mortalité a été enregistrée quotidiennement.

3.4.2.5 Analyses statistiques :

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS (1999). Les variables qualitatives étudiées sur les femelles (taux de réceptivité, de gestation, de fertilité, de survie) et sur les lapereaux (mortalité, morbidité) ont été analysées avec un test Khi2 (procédure Catmod). Dans une première analyse des taux de réceptivité, de gestation et de fertilité nous avons testé les effets du lot, du cycle de reproduction et l'interaction lot x cycle de reproduction. Dans une deuxième analyse des données concernant les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité au cours du 3^{ième} cycle de reproduction, l'effet de la fertilité au cycle précédent (gestante ou non), l'effet du lot et l'interaction lot x fertilité au cycle précédent ont été testés.

Les variables quantitatives ont été analysées avec une analyse de variance. Un modèle mixte (Proc Mixed) adapté aux mesures répétées, combiné si nécessaire à un test de comparaison multiple de moyennes (test de Scheffe) a été utilisé. Concernant les données des femelles (ingestion d'aliment, taille et poids de portée, production laitière, réserves énergétiques) le modèle statistique comprenait le lot, le numéro du cycle de reproduction et l'interaction lot x numéro du cycle de reproduction comme effets fixes et l'effet de la femelle comme variable aléatoire. Pour les données issues de l'abattage des femelles, la procédure GLM a été utilisée, le modèle statistique comprenait l'effet du nombre de sevrages réalisés, l'effet du lot et leurs interactions comme effets fixes. Pour les données concernant des lapereaux, le modèle statistique mixte (Proc Mixed) comprenait le lot comme effet fixé et la cage comme une variable aléatoire.

3.4.3 Résultats

3.4.3.1 Performances de reproduction des lapines

Il existe une interaction entre le numéro de cycle et le lot pour les taux de gestation ($P=0,021$) et de fertilité ($P=0,025$). Ainsi, la conduite de la reproduction influence essentiellement la réussite de la 2^{ième} insémination artificielle (cycle 2 ; Tableau II). En effet, les lapines primipares inséminées après le sevrage (lot E) ont des taux de gestation et de fertilité plus élevés (+15 points ; $P<0,05$, +17 points ; $P<0,01$, respectivement) que les femelles témoins (lot T). Pourtant, aucune différence sur la réceptivité sexuelle n'a été

observée entre les lots. Aucun effet du lot n'a été enregistré sur les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité au cours du cycle 3. La réceptivité sexuelle des lapines du lot E tend à être supérieure de 12 points au cours du cycle 4 ($P=0,06$) comparées aux lapines du lot T. Cependant cet effet ne se confirme pas sur le taux de gestation et sur le taux de fertilité. Sur l'ensemble des cycles, la fertilité des lapines inséminées après le sevrage (lot E) tend à être supérieure de 7 points ($P=0,08$) par rapport aux femelles témoins (lot T).

Tableau II : Influence de la conduite de la reproduction sur les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité des lapines

Lot	T	E	Pr>F
Cycle 2 (de l'IA2 à la MB2)			
<i>Nb. de lapines</i>	115	108	
Taux de réceptivité, %	63,5	69,4	0,346
Taux de gestation, %	61,7	76,9	0,015
Taux de fertilité, %	58,3	75,0	0,008
Cycle 3 (de l'IA3 à la MB3)			
<i>Nb. de lapines</i>	109	99	
Taux de réceptivité, %	78,0	78,8	0,888
Taux de gestation, %	87,2	78,8	0,110
Taux de fertilité, %	77,1	69,7	0,229
Cycle 4 (de l'IA4 à la MB4)			
<i>Nb. de lapines</i>	94	87	
Taux de réceptivité, %	68,1	80,5	0,058
Taux de gestation, %	62,8	71,3	0,225
Taux de fertilité, %	57,4	67,8	0,150

La réceptivité sexuelle et le taux de gestation des lapines au cours du cycle 3 sont influencés par leur fertilité au cours du cycle 2 (Tableau III). En effet, les lapines primipares ont une réceptivité sexuelle et un taux de gestation supérieurs de 18 points ($P<0,01$) et 16 points ($P<0,05$) respectivement, par rapport aux lapines secondipares au moment de la 3^{ième} IA. Quelle que soit la fertilité des lapines au cours du cycle 2, le lot n'influence pas la réceptivité, le taux de gestation et le taux de fertilité des lapines au cours du cycle 3 (Tableau III).

Tableau III : Influence de la fertilité des lapines au cours du cycle 2 sur les taux de réceptivité, de gestation et de fertilité des lapines au cours du cycle 3

Lot	T	E	Pr>F
Cycle 3 (de l'IA3 à la MB3) †			
Lapines ayant mis bas à la MB2			
<i>Nb. de lapines</i>	67	74	
Taux de réceptivité, %	68,7	75,7	0,352
Taux de gestation, %	83,6	73,0	0,129
Taux de fertilité, %	73,13	67,6	0,470
Lapines n'ayant pas mis bas à la MB2			
<i>Nb. de lapines</i>	42	25	
Taux de réceptivité, %	92,9	88,0	0,501
Taux de gestation, %	92,9	96,0	0,600
Taux de fertilité, %	83,3	76,0	0,463

†: Effet de la fertilité des lapines au cours du cycle 2 sur les performances de reproduction au cycle 3 : taux de réceptivité P=0,005 ; taux de gestation P=0,013 ; taux de fertilité P=0,158. Pas d'interaction lot x fertilité des lapines au cycle précédent.

L'étude de l'évolution de la fertilité des lapines au cours des cycles de reproduction (Tableau IV) révèle des taux de gestation et de fertilité supérieurs de +25 points (P<0,001) et de +19 points (P<0,005) au cours du cycle 3 par rapport aux cycles 2 et 4 pour les femelles du lot T. En revanche, lorsque les lapines sont inséminées après le sevrage (lot E) une régularité des performances de reproduction au cours des cycles est observée.

Tableau IV : Evolution intra lot de la fertilité des lapines au cours des cycles de reproduction

	Cycle 2 (de l'IA2 à la MB2*)	Cycle 3 (de l'IA3 à la MB3*)	Cycle 4 (de l'IA4 à la MB4*)	Pr>F
Lot T				
<i>Nb. de lapines</i>	115	109	94	
Taux de réceptivité, %	63,5	78,0	68,1	0,058
Taux de gestation, %	61,7 ^a	87,2 ^b	62,8 ^a	<0,001
Taux de fertilité, %	58,3 ^a	77,1 ^b	57,4 ^a	0,004
Lot E				
<i>Nb. de lapines</i>	108	99	87	
Taux de réceptivité, %	69,4	78,8	80,5	0,146
Taux de gestation, %	76,9	78,8	71,3	0,469
Taux de fertilité, %	75,0	69,7	67,8	0,510

a, b : les moyennes d'une même ligne affectées de la même lettre ne diffèrent pas au seuil P=0,05

* : ce numéro de mise bas est affecté en fonction du numéro de l'insémination correspondante, il ne correspond pas au nombre de mises bas réalisées mais au numéro du cycle de reproduction.

3.4.3.2 Performances zootechniques des lapines et des lapereaux jusqu'au 23^{ième} jours de lactation :

Toutes lapines confondues (indépendamment du nombre de lactation réalisées). Quel que soit le cycle de reproduction considéré, la taille et le poids de la portée à la parturition ne sont pas affectés par la conduite de la reproduction des lapines (Tableau V). Au cours des cycles 2, 3 et 4, la taille moyenne de la portée augmente de 2 lapereaux (P<0,05) et le poids moyen de la portée est supérieur de 42,1% (P<0,05) par rapport au cycle 1. De même, la production laitière augmente de 44,5% (P<0,05) au cours du cycle 4 comparée à celle du cycle 1. La taille et le poids de la portée 23 jours après les parturitions 1, 2 et 3 ne sont pas affectés par la conduite de la reproduction des lapines. En revanche, 23 jours après la 4^{ième} parturition, la taille de la portée des femelles du lot E est supérieure en moyenne de 1,1 lapereau comparée à celle des femelles du lot T (P>0,001). Cependant, cet effet n'est pas significatif sur le poids de la portée (P=0,073) malgré une production laitière des lapines du lot E supérieure de 7% (P<0,05) par rapport aux lapines témoins. En effet, à 23 jours, le poids moyen d'un lapereau allaité par une femelle du lot T est supérieur de 5,3% (P<0,05) comparé

à celui d'un lapereau allaité par une femelle du lot E. Au cours de la 3^{ième} semaine de lactation l'ingestion moyenne quotidienne des lapines n'est pas affectée par la conduite de la reproduction au cours des cycles 1, 2 et 4. Cependant lors du 3^{ième} cycle, les femelles témoins ingèrent 12,7% d'aliment en plus ($P < 0,005$) comparées aux femelles du lot E. Par ailleurs, l'ingestion moyenne quotidienne des femelles au cours de la 3^{ième} semaine de lactation augmente au cours de la carrière reproductive (+32,2% et +19,9% du cycle 1 au cycle 4 dans le lot T et E respectivement).

Tableau V : Performances zootechniques des lapines (indépendamment du nombre de sevrages réalisés) et des lapereaux, de la parturition à 23 jours

Toutes lapines confondues†	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	<i>ETr</i>	Effet cycle
Taille de portée à la MB						
Lot T, (<i>n</i>)	9,0 ^b (115)	10,8 ^a (67)	11,7 ^a (81)	10,7 ^a (42)	3,1	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	9,1 ^b (110)	10,8 ^a (80)	11,2 ^a (65)	11,6 ^a (56)	2,7	<0,001
Effet lot	0,767	0,908	0,355	0,157		
<i>ETr</i>	2,5	3,3	3,3	3,1		
Poids de portée à la MB, g						
Lot T, (<i>n</i>)	456,2 ^b (115)	617,1 ^a (67)	649,1 ^a (81)	652,7 ^a (42)	164,9	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	456,6 ^c (110)	632,3 ^{ab} (80)	659,6 ^b (65)	676,8 ^a (56)	149,9	<0,001
Effet lot	0,984	0,603	0,723	0,498		
<i>ETr</i>	120,9	175,6	177,1	174,8		
Ingestion alimentaire de 14 à 21j après la MB, g/j						
Lot T, (<i>n</i>)	308,2 ^c (114)	366,5 ^b (107)	426,3 ^a (91)	407,5 ^a (69)	92,1	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	312,5 ^b (107)	355,9 ^a (98)	378,2 ^a (87)	374,8 ^a (80)	90,0	<0,001
Effet lot	0,555	0,505	0,004	0,073		
<i>ETr</i>	53,0	113,9	110,2	110,2		
Production laitière de 0 à 23j après la MB, g/j						
Lot T, (<i>n</i>)	169,3 ^b (114)	238,9 ^a (63)	217,0 ^a (77)	237,9 ^a (42)	49,9	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	174,0 ^c (108)	224,4 ^b (74)	210,7 ^b (74)	255,4 ^b (74)	44,9	<0,001
Effet lot	0,356	0,030	0,621	0,045		
<i>ETr</i>	37,6	38,1	76,2	42,0		
Taille de portée à 23 jours						
Lot T, (<i>n</i>)	6,8 ^b (114)	8,1 ^a (63)	7,7 ^a (77)	7,7 ^a (42)	1,6	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	6,9 ^c (108)	8,0 ^{ab} (74)	7,3 ^{bc} (65)	8,6 ^a (56)	1,5	<0,001
Effet lot	0,671	0,435	0,417	<0,001		
<i>ETr</i>	1,6	1,1	2,4	1,1		
Poids de portée à 23 jours, g						
Lot T, (<i>n</i>)	2512,3 ^b (114)	3585,4 ^a (63)	3281,9 ^a (77)	3594,5 ^a (42)	693,7	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	2575,6 ^c (108)	3395,2 ^b (74)	3221,1 ^b (65)	3817,9 ^a (56)	627,1	<0,001
Effet lot	0,376	0,066	0,732	0,073		
<i>ETr</i>	531,0	533,1	1049,9	603,9		

† : interaction lot x cycle : Ingestion P=0,016 ; Taille de portée à 23j P=0,024 ; Poids de portée à 23j P=0,066 ; autres variables : NS

a, b, c : les moyennes d'une même ligne affectées de la même lettre ne diffèrent pas au seuil P=0,05

Lapines ayant réalisé 4 sevrages. Quel que soit le cycle considéré, la taille et le poids de la portée à la parturition ne sont pas affectés par la conduite de la reproduction des lapines (Tableau VI). Au cours des cycles 2, 3 et 4, la taille moyenne (+2,8 lapereaux ; $P<0,05$) et le poids moyen de la portée (+37,7% ; $P<0,05$) augmentent par rapport à ceux obtenus à la première mise bas. La taille et le poids de la portée à 23 jours et la production laitière ne sont pas affectés par la conduite de la reproduction des lapines au cours des cycles de reproduction 1, 2 et 3. En revanche au cours du 4^{ième} cycle, la production laitière (+11,3% ; $P<0,05$), la taille (+1 lapereau ; $P<0,05$) et le poids (+10,1% ; $P<0,05$) de la portée à 23 jours sont supérieurs pour les femelles du lot E comparées à celles du lot T. Cet effet sur le poids de la portée est directement lié à l'augmentation de la taille de portée car aucune différence entre les lots n'est enregistrée sur le poids moyen d'un lapereau. L'ingestion d'aliment au cours de la 3^{ième} semaine de lactation est plus élevée pour les lapines du lot T par rapport à celles du lot E après le premier cycle de reproduction (+11,5 % ; $P<0,001$, +11,7% ; $P<0,01$ et +10,9% ; $P<0,001$ au cours des cycles 2, 3 et 4 respectivement). Par ailleurs, quel que soit le lot considéré, l'ingestion des femelles au cours de la 3^{ième} semaine de lactation et la production laitière augmentent avec la parité (+56,2% ; $P<0,05$ et +47,0% ; $P<0,05$ respectivement, du cycle 1 au cycle 4).

Tableau VI : Performances zootechniques des lapines ayant réalisé 4 sevrages et des lapereaux, de la parturition à 23 jours

Lapines ayant réalisé 4 sevrages †	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	<i>ETr</i>	Effet cycle
Taille de portée à la MB						
Lot T	8,3	10,6	10,8	11,0	3,2	0,062
Lot E	8,6 ^b	11,5 ^a	11,6 ^a	11,6 ^a	2,4	<0,001
Effet lot	0,767	0,908	0,355	0,157		
<i>ETr</i>	2,5	3,3	3,3	3,1		
Poids de portée à la MB, g						
Lot T	425,5 ^b	608,8 ^a	632,4 ^a	693,8 ^a	160,3	<0,001
Lot E	442,8 ^c	664,0 ^{ab}	712,1 ^b	715,7 ^a	119,9	<0,001
Effet lot	0,645	0,137	0,113	0,580		
<i>ETr</i>	122,3	119,8	161,9	128,7		
Ingestion alimentaire de 14 à 21j après la MB, g/j						
Lot T	308,0 ^c	463,3 ^b	499,9 ^{ab}	509,8 ^a	43,8	<0,001
Lot E	303,5 ^c	415,6 ^b	447,4 ^a	459,7 ^a	40,0	<0,001
Effet lot	0,791	<0,001	0,003	<0,001		
<i>ETr</i>	55,4	41,7	55,9	37,1		
Production laitière de 0 à 23j après la MB, g/j						
Lot T, (<i>n</i>)	167,8 ^b	241,9 ^a	218,7 ^a	239,1 ^a	41,5	<0,001
Lot E, (<i>n</i>)	178,7 ^c	224,5 ^b	232,1 ^b	266,2 ^a	37,6	<0,001
Effet lot	0,183	0,094	0,466	0,014		
<i>ETr</i>	26,4	33,4	59,8	35,0		
Taille de portée à 23 jours						
Lot T	6,9	8,3	7,5	7,6	1,4	0,067
Lot E	7,1 ^b	7,9 ^{ab}	7,8 ^{ab}	8,6 ^a	1,2	<0,001
Effet lot	0,591	0,264	0,249	0,003		
<i>ETr</i>	1,1	1,1	1,9	1,0		
Poids de portée à 23 jours, g						
Lot T	2504,8 ^b	3626,8 ^a	3317,8 ^a	3632,1 ^a	593,2	<0,001
Lot E	2644,1 ^c	3394,3 ^b	3536,3 ^b	3998,2 ^a	525,5	<0,001
Effet lot	0,236	0,105	0,390	0,021		
<i>ETr</i>	380,8	461,1	826,7	501,5		

† : lot IA11S35, n=16 ; lot IA25S23, n=33. Interaction lot x cycle : Ingestion P=0,028 ; Poids de portée à 23j P=0,077 ; autres variables NS.

a, b, c : les moyennes d'une même ligne affectées de la même lettre ne diffèrent pas au seuil P=0,05

3.4.3.3 Efficacité des conduites étudiées :

La proportion de lapines ayant réalisé 4 sevrages est supérieure de 16 points ($P < 0,005$) dans le groupe de femelles conduites avec un rythme de reproduction plus extensif associé à une durée de lactation réduite (Tableau VII). L'intervalle moyen réel entre deux parturitions est supérieur de 11,4 jours pour les femelles du lot E comparées aux femelles du lot T ($P < 0,001$). Sur l'ensemble des 4 cycles de reproduction, la productivité numérique à 23 jours est supérieure de 11,5% ($P < 0,05$) pour les lapines issues du lot E par rapport au lot T. De même, la productivité pondérale tend à être supérieure de 11,2% ($P = 0,07$) chez les lapines issues du lot E comparées à celles du lot T. Cependant, ces augmentations ne compensent pas l'accroissement de la durée du cycle de reproduction dans le lot E. En effet, les productivités pondérale et numérique annuelles à 23 jours sont inférieures de 13,5% ($P < 0,01$) et de 13,2% ($P < 0,05$) pour les lapines du lot E comparées aux lapines du lot T.

Aucune différence n'est enregistrée entre les lots sur le taux de survie au cours des cycles 1, 2 et 3. Mais du sevrage 3 au sevrage 4 et sur la période expérimentale totale (de la parturition 1 au sevrage 4), le taux de survie est inférieur de 12 points ($P < 0,05$) et de 13 points ($P < 0,05$) respectivement, lorsque les femelles sont conduites avec le rythme de reproduction le plus intensif. En conséquence, le taux de survie annuel est supérieur de 39 points lorsque les lapines sont inséminées deux jours après un sevrage précoce (lot E) par rapport à la conduite classique (lot T).

Tableau VII : Critères globaux renseignant sur l'efficacité des deux conduites étudiées

Lot	T	E	ETr	Pr>F
<i>Nb. de lapines</i>	115	111		
Lapines ayant réussi 4 sevrages consécutifs, %	13,9	29,7		0,004
<i>Nb. de lapines</i>	105	100		
Intervalle moyen entre 2 parturitions, j	56,4	67,8	19,0	0,001
<i>Nb. de lapines</i>	115	108		
Productivité numérique à 23j par lapine	19,1	21,3	8,1	0,048
Productivité pondérale à 23j par lapine, Kg	8,0	8,9	3,7	0,070
Productivité numérique annuelle à 23j par lapine	46,7	40,4	17,6	0,008
Productivité pondérale annuelle à 23j par lapine, Kg/an	19,5	16,9	7,9	0,016
Taux de survie (%)				
<i>Nb. de lapines à la parturition 1</i>	115	111		
De la parturition 1 au sevrage 1	99,1	97,3		0,296
<i>Nb. de lapines au sevrage 1</i>	114	108		
Du sevrage 1 au 2	91,2	95,5		0,219
<i>Nb. de lapines au sevrage 2</i>	104	103		
Du sevrage 2 au 3	81,7	84,5		0,600
<i>Nb. de lapines au sevrage 3</i>	85	87		
Du sevrage 3 au 4	81,2	93,1		0,019
<i>Nb. de lapines au sevrage 4</i>	69	81		
Période expérimentale totale	60,0	73,0		0,039
Taux de survie annuel	9,5	48,5		<0,001

3.4.3.4 Etat corporel des lapines :

Toutes lapines confondues. Les réserves énergétiques des femelles du lot E augmentent au cours des cycles de reproduction (P<0,001 ; Tableau VIII). Cette augmentation est significative à partir du 3^{ième} cycle (+15,0% ; P<0,05), et représente un gain de +38,2% au 4^{ième} cycle de reproduction par rapport aux réserves énergétiques initiales (P<0,05). Ce phénomène est moins marquée pour les femelles du lot T (P=0,06), avec une augmentation des réserves énergétiques initiales de +11,4% au 4^{ième} cycle de reproduction. Cette différence d'évolution entre les lots se traduit par une teneur en énergie corporelle totale des lapines

supérieure de +22,9% dans le lot E par rapport au lot T au 4^{ième} cycle de reproduction (P<0,001). Ainsi, le gain moyen quotidien d'énergie corporelle (en MJ / jour) entre le cycle 1 et 4 est 1,5 fois supérieur dans le lot E comparé au lot T (P<0,001).

Tableau VIII : Evolution des réserves énergétiques des lapines soumises à deux conduites de la reproduction

Cycle	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	<i>ETr</i>	Effet cycle
Energie corporelle (MJ)						
Toutes lapines confondues †						
Lot T (<i>n</i> =69)	41,2	40,8	44,5	45,9	8,4	0,058
Lot E (<i>n</i> =82)	40,8 ^c	43,2 ^{bc}	46,9 ^b	56,4 ^a	10,1	<0,001
<i>ETr</i>	7,9	11,3	13,3	13,5		
Effet lot	0,745	0,196	0,266	<0,001		
Lapines ayant réalisé 4 sevrages †						
Lot T (<i>n</i> =16)	40,7 ^a	33,9 ^b	37,6 ^b	36,0 ^b	4,18	<0,001
Lot E (<i>n</i> =33)	41,9 ^b	39,2 ^b	40,0 ^b	49,4 ^a	4,4	<0,001
<i>ETr</i>	8,7	8,2	9,0	8,3		
Effet lot	0,676	0,037	0,374	<0,001		

† : interaction lot x cycle : P<0,001

Au moment de l'abattage, le lendemain du 4^{ième} sevrage, aucun effet du lot n'a été observé sur le poids vif, le poids vif vide, le poids des tissus adipeux ou de la carcasse des femelles. Cependant, un effet très significatif du nombre de sevrages réalisés a été constaté sur le poids des principaux tissus adipeux (Figure II) et les autres paramètres étudiés (Tableau IX).

Figure II : Poids des principaux tissus adipeux dissécables en fonction du nombre de sevrages réalisés

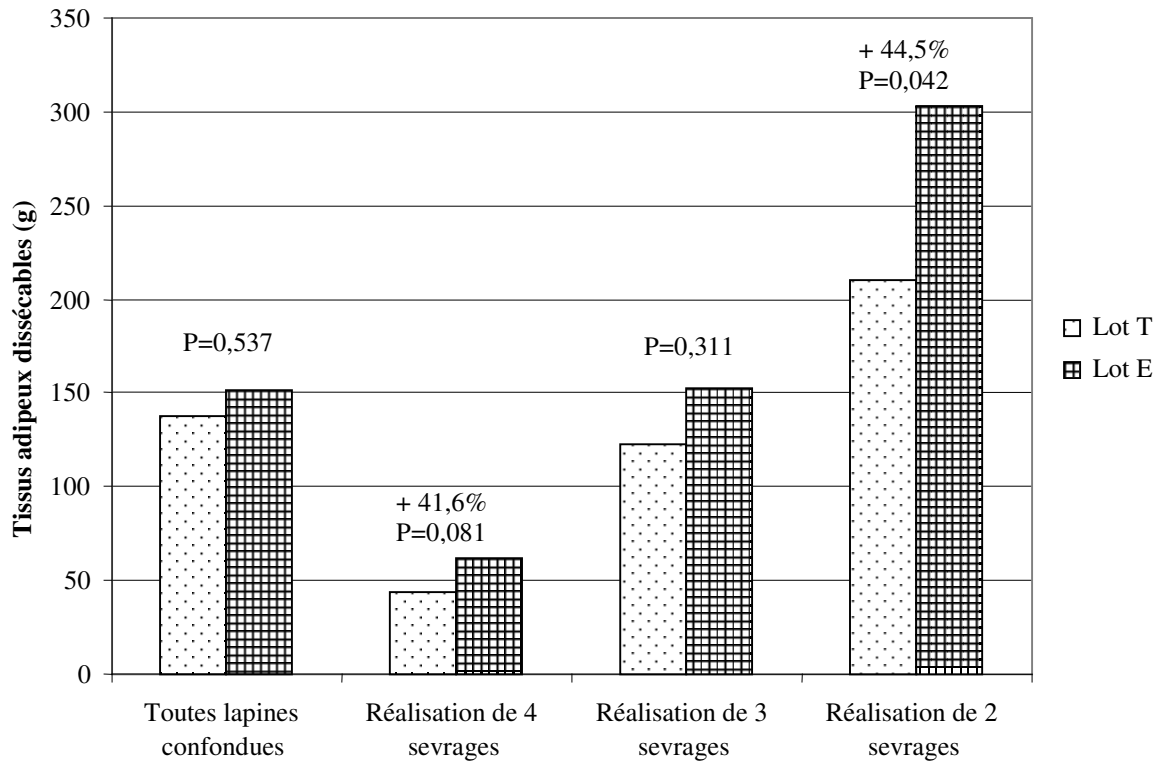


Tableau IX : Composition corporelle des lapines à l'abattage

Lot	T	E	ETr	Pr>F
Toutes lapines confondues[#]				
<i>Nb. de lapines</i>	68	81		
Poids vif, g	4631,2	4737,2	707,9	0,364
Tissus adipeux [†] , g	137,8	151,2	131,7	0,537
Poids de la carcasse, g	2765,8	2746,7	439,8	0,793
Poids vif vide, g	4365,0	4450,9	731,7	0,478
Lapines ayant réalisé 4 sevrages				
<i>Nb. de lapines</i>	16	33		
Poids vif, g	4190,9	4634,3	424,6	0,001
Tissus adipeux [†] , g	44,0	62,3	33,8	0,081
Poids de la carcasse, g	2416,6	2571,1	269,3	0,066
Poids vif vide, g	3895,8	4304,8	423,5	0,003

[#] : Effet très significatif du nombre de sevrages réalisés (P<0,01) sur les 4 paramètres étudiés. Interaction significative entre le lot et le nombre de sevrages réalisés sur le poids vif (P=0,014) et le poids vif vide (P=0,035).

[†] : poids du gras périrénal et interscapulaire

Lapines ayant réalisé 4 sevrages. Lorsque les lapines du lot E ont sevré au moins un lapereau quatre fois de suite, leurs réserves énergétiques augmentent à partir du 4^{ième} cycle ($P < 0,001$; Tableau VIII). En revanche, les réserves énergétiques des lapines du lot T diminuent dès le 2^{ième} cycle et ne sont pas restaurées au 4^{ième} cycle de reproduction ($P < 0,001$). En conséquence, les lapines du lot E ayant réalisées 4 sevrages ont une énergie corporelle supérieure de +15,6% ($P < 0,05$) au cours du 2^{ième} cycle et de +27,1% au cours du 4^{ième} cycle de reproduction par rapport aux femelles du lot T. Sur l'ensemble des cycles, le lot a une influence forte sur l'évolution de l'énergie corporelle. En effet, sur l'ensemble de la période expérimentale, les lapines du lot E gagnent en moyenne +0,05 Mj / jour alors que les lapines du lot T perdent en moyenne -0,04 MJ / jour ($P < 0,001$).

A l'abattage, le lendemain du 4^{ième} sevrage, le poids vif et le poids vif vide des lapines du lot E sont supérieurs de 10,6% ($P < 0,001$) et de 10,5% ($P < 0,005$) respectivement, par rapport aux lapines témoins (Tableau IX). De même, le poids des principaux tissus dissecables et de la carcasse tendent à être supérieurs de +41,6% ($P = 0,081$) et de +6,4% ($P = 0,066$) respectivement, par rapport aux lapines témoins.

3.4.3.5 Performances zootechniques des lapereaux issus du quatrième sevrage :

Le jour du sevrage, les lapereaux âgés de 23 jours ont un poids inférieur de 55,5% par rapport aux lapereaux âgés de 35 jours (Tableau X). Au même âge, à 35 jours, les lapereaux du lot E ont un poids inférieur de 12,7% ($P < 0,001$) par rapport aux lapereaux du lot T. A 50 jours, le poids des lapereaux sevrés précocement est inférieur de 4,4% par rapport aux lapereaux sevrés à 35 jours ($P < 0,05$). En revanche, le poids des lapereaux à 63 jours d'âge est similaire entre les lots. En effet, une croissance compensatrice enregistrée de 50 à 63 jours d'âge (lot E vs lot T : +5,2% ; $P = 0,001$) a permis aux lapereaux du lot E de récupérer leur retard de poids.

Tableau X : Poids et croissance des lapereaux

Lot	T	E	<i>ETr</i>	Pr>F
<i>Nb. de lapins</i>	306	488		
Poids vif au sevrage, g	1002,7	446,6	67,2	<0,001
<i>Nb. de lapins</i>	306	442		
Poids vif à 35 jours, g	1002,7	875,1	177,3	<0,001
<i>Nb. de lapins</i>	269	289		
Poids vif à 50 jours, g	1814,0	1735,1	281,2	0,018
GMQ de 35 à 50 jours, g/j	53,5	54,0	12,1	0,664
<i>Nb. de lapins</i>	263	281		
Poids vif à 63 jours, g	2480,9	2442,5	274,4	0,215
GMQ de 50 à 63 jours, g/j	50,4	53,0	7,7	0,001

Du sevrage à 50 jours d'âge, la mortalité des lapereaux sevrés à 23 jours (lot E) est supérieure de 28,7 points ($P < 0,001$; Tableau XI) par rapport à celle des lapereaux sevrés à 35 jours (lot T). Aucun effet du lot n'est observé sur la mortalité de 50 à 63 jours ni sur la morbidité quelle que soit la période considérée. Sur l'ensemble de la période (du sevrage à 63 jours) la mortalité des lapereaux sevrés à 23 jours (lot E) est supérieure de 28,3 points par rapport aux lapereaux sevrés conventionnellement à 35 jours (lot T).

Tableau XI : Etat sanitaire des lapereaux

Lot	T	E	Prob.
Du sevrage à 50 jours			
<i>Nb. de lapins</i>	306	488	
Mortalité (%)	12,1	40,8	<0,001
Morbidité (%)	16,3	13,9	0,354
De 50 à 63 jours			
<i>Nb. de lapins</i>	269	289	
Mortalité (%)	2,2	2,8	0,685
Morbidité (%)	2,6	4,8	0,164
Du sevrage à 63 jours[†]			
<i>Nb. de lapins</i>	306	488	
Mortalité (%)	14,1	42,4	<0,001
Morbidité (%)	14,7	15,4	0,800

[†] dans une période totalisant les données de deux sous périodes, un animal morbide n'est compté qu'une seule fois, même s'il présente des signes de morbidité dans les deux sous périodes. Ainsi le nombre d'animaux morbide d'une période totale n'est pas égal au cumul du nombre d'animaux morbides observés dans les deux sous périodes.

3.4.4 Discussion

3.4.4.1 Evolution de l'état corporel des femelles au cours des cycles de reproduction

L'action combinée d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation avait pour objectif de limiter les besoins nutritionnels des lapines et de réduire ainsi leur mobilisation énergétique corporelle. Nos résultats montrent qu'une conduite plus extensive de la reproduction améliore l'état corporel des lapines en accord avec des travaux précédents (Xiccato et al., 2004a ; Feugier et Fortun-Lamothe, 2006). Cependant l'effet à long terme (plusieurs cycles de reproduction) d'une modification du rythme de reproduction sur l'évolution de l'état corporel des lapines est mal connu. En effet, peu d'études décrivent l'évolution de l'état corporel des lapines au cours des cycles de reproduction car la mise au point de méthodes d'estimation de la composition corporelle non invasives est récente chez le lapin (Pascual et al., 2000 ; Fortun-Lamothe, 2005). La méthode TOBEC permet de montrer que l'état corporel des lapines conduites de manière plus

extensive évolue positivement au cours des cycles de reproduction (augmentation des réserves énergétiques initiales), ce qui n'est pas le cas lorsque les femelles suivent la conduite classique, plus intensive. Nos résultats confirment les travaux de Bolet et Fortun-Lamothe (2002). Ces derniers, utilisant la même méthode, constatent que les réserves énergétiques initiales des lapines suivant un rythme classique (42 jours) associé à un sevrage à 28 jours diminuent dès le deuxième cycle de reproduction et ne sont pas restaurées à la troisième parturition lorsqu'elles ont été gestantes au cours des cycles 2 et 3. Les données d'ingestion alimentaire permettent également d'apprécier l'effet positif de notre conduite expérimentale sur la réduction de la sollicitation nutritionnelle des femelles. En effet, ces lapines ingèrent moins d'aliment au cours des cycles de reproduction par rapport aux lapines témoins. Quel que soit le lot considéré, l'ingestion d'aliment augmente avec la parité. Cette augmentation est importante du cycle 1 à 3, puis se stabilise et n'est plus significative dans le dernier cycle en accord avec de nombreux travaux (Castellini et Battaglini, 1991 ; Simplicio et al., 1988 ; Parigi Bini et al., 1989 ; Battaglini et Grandi, 1991 ; Xiccato et al., 2004a). L'augmentation importante de la quantité d'aliment ingéré du cycle 1 au cycle 2 traduit l'insuffisance d'ingestion des lapines primipares, phénomène fréquemment observé (Maertens, 1992 ; Xiccato, 1996 ; Parigi Bini et Xiccato, 1998 ; Pascual et al., 1998) et particulièrement amplifié avec les femelles hybrides sélectionnées pour leur prolificité et leur production laitière (Fortun-Lamothe, 2005). Bolet et Fortun-Lamothe (2002) ont montré que l'état corporel des femelles à un stade donné est très dépendant de leur fertilité au cours des cycles précédents. Notre travail confirme cette relation entre état corporel et fertilité sur plusieurs cycles de reproduction. Toutefois il n'apporte pas d'information sur l'influence de l'état corporel au moment de l'insémination artificielle sur la fertilité. Cette corrélation est peu décrite chez le lapin par rapport aux autres espèces (Monget et Martin, 1997 ; Butler et Smith, 1989 ; Quesnel, 2005 ; Renquist et al., 2006).

3.4.4.2 Evolution des performances des femelles au cours des cycles de reproduction

Une extensification du rythme de reproduction couplée à une réduction de la durée de la lactation améliore la fertilité des lapines primipares en accord avec nos résultats précédents (Feugier et Fortun-Lamothe, 2006, Chapitre 1). A l'inverse, l'effet positif sur la fertilité d'une insémination après le sevrage ne se confirme pas lorsque les lapines sont multipares contrairement aux résultats de Castellini et al. (2006a). Dans cette étude, la fertilité des

lapines soumises à un rythme de reproduction classique (rythme à 42 jours, sevrage à 26 jours) est supérieure chez les femelles multipares par rapport aux primipares (60% vs 49%). Et les auteurs n'observent pas d'effet de la parité lorsque les lapines sont inséminées un jour après un sevrage à 26 jours (77% vs 79%). Nos résultats confirment cette observation, la fertilité des lapines multipares est supérieure aux lapines primipares lorsqu'elles sont conduites avec un rythme de reproduction classique. En revanche, les lapines soumises à une insémination post sevrage présentent une meilleure régularité des performances de reproduction au cours des cycles. Une insémination post-sevrage semble donc plus adaptée à la physiologie de la reproduction de la lapine ce qui se traduit par un meilleur état corporel et une augmentation de la durée de sa carrière productive (Parigi-Bini et al., 1989 ; Castellini et al., 2003). Effectivement, les effets négatifs de la lactation (antagonisme hormonal et déficit énergétique) sur la fonction de reproduction ont été décrits (Fortun-Lamothe et al., 2005). Lorsque les femelles sont simultanément gestantes et allaitantes, une compétition pour la répartition des nutriments est observée entre l'utérus gravide et la glande mammaire au détriment de la croissance fœtale (Fortun-Lamothe et Prunier, 1999). Cependant dans notre étude, la superposition de ces deux fonctions n'affecte pas le poids ni la taille de la portée à la parturition. En revanche quelle que soit la conduite considérée, nos résultats confirment l'augmentation de la taille et du poids de la portée à la mise bas et de la production laitière avec l'accroissement de la parité en accord avec la littérature existante (Parigi-Bini et al., 1989 ; Xiccato et al., 2004a ; Szendrő, 2000).

3.4.4.3 Performances globales des conduites étudiées

Une intensification du rythme de reproduction conduit, malgré son avantage théorique, à un effet relativement faible sur la productivité à cause d'une sollicitation trop importante des femelles qui se traduit par une diminution de la fertilité et de leurs réserves corporelles (Mendez et al., 1986 ; Xiccato, 1996 ; Castellini et al., 2003). Nos résultats confirment qu'une extensification de la conduite de la reproduction améliore les réserves corporelles des lapines et accroît leurs productivités numérique et pondérale par cycle. Cependant, lorsque ces productivités sont estimées à l'échelle d'une année, la conduite expérimentale proposée dans notre travail ne permet pas de compenser la réduction du nombre de cycle par unité de temps.

Une extensification du rythme de reproduction associée à une réduction de la durée de la lactation augmente le taux de survie des lapines (réduction du nombre de réformes

involontaires). Elle permet également d'accroître leurs performances de reproduction (augmentation de la fertilité, réussite d'un plus grand nombre de gestations successives) et d'améliorer leur état corporel. Ces paramètres interviennent dans la décision de réformer volontairement les femelles. Par conséquent, nos résultats suggèrent que la conduite étudiée, plus extensive que la conduite classiquement pratiquée dans les élevages, est susceptible de réduire considérablement le taux de renouvellement des lapines reproductrices en accord avec Parigi-Bini et al. (1989) et Castellini et al. (2003 et 2006a).

Contrairement aux travaux de Piattoni et al. (1999), Xiccato et al. (2000), Castellini et al. (2006a), un sevrage réalisé plus tôt augmente la susceptibilité des lapereaux aux troubles digestifs après le sevrage. En accord avec nos résultats précédents (Feugier et al., 2006) et d'autres travaux (Gidenne et Fortun-Lamothe, 2004), la mortalité des lapereaux sevrés à 23 jours est fortement supérieure à celle des animaux sevrés plus tardivement. Dans le contexte sanitaire actuel, la réalisation d'un sevrage précoce (à 23 jours) sans usage de traitement antibiotique à titre préventif semble donc trop risqué. Quelques jours d'allaitement supplémentaires pourraient permettre au système digestif du lapereau d'atteindre une maturité suffisante et d'éviter ainsi les troubles digestifs constatés après un sevrage à 23 jours.

3.4.5 Conclusion

L'action combinée d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation par rapport à la conduite classique permet de limiter les besoins nutritionnels des lapines. En conséquence, cela permet de réduire la mobilisation énergétique corporelle des lapines au cours de leur carrière productive et d'améliorer ainsi leur longévité. Cette stratégie est intéressante car elle confirme très clairement que la conduite classique de la reproduction n'est pas adaptée aux lapines primipares. Toutefois, en augmentant uniquement la fertilité des lapines au premier cycle de reproduction, notre conduite plus extensive ne permettrait pas sur une carrière de compenser la perte du nombre de cycle par an. Ces résultats sont à confirmer dans un contexte sanitaire plus favorable.

De plus, un âge au sevrage trop précoce augmente sensiblement la susceptibilité des lapereaux aux troubles digestifs. Il serait donc pertinent de préciser les besoins nutritionnels des lapereaux sevrés précocement afin de pouvoir leur proposer dès le sevrage une alimentation spécifique, préservant leur santé digestive et/ou de sevrer les lapereaux plus tardivement.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le personnel de « Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques (INRA Le magneraud, France) pour son assistance technique. Cette étude a été financée par l'INRA et la région Poitou Charentes.

REFERENCES

Battaglini M., et Grandi, A., 1991. Effetto della fase fisiologica, della stagione e dell'ordine di parto sul comportamento alimentare della coniglia fattrice. Proc. IX Congresso Nazionale Aspa, Roma, 465-475.

Butler W. R., and Smit. R. D., 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 72: 767-783.

Bolet G., Fortun-Lamothe L., 2002. Relationship between body condition and reproductive performances in rabbit does. Proc. 3rd meeting of workgroups 3 and 4. COST action 848, Ispra, Italy, 24-25 October. Comm n°23.

Bonanno A., Mazza F., Di Grigoli A., Alicata M.L., 2005. Assessment of a method for evaluating the body condition of lactating rabbit does : preliminary results. Proc. XVI Congresso Nazionale Aspa, Torino, 4, p560.

Castellini C., Battaglini M., 1991. Influenza della concentrazione energetica della razione e del ritmo riproduttivo sulle performance delle coniglie. Proc. IX Congresso Nazionale Aspa, Roma, Vol.I, pp. 477-488.

Castellini C., Dal Bosco A., Mugnai C., 2003. Comparison of different reproduction protocols for rabbit does : effect of litter size and mating interval. *Livest. Prod. Sci.*, 83, 131-139.

Castellini C., Dal Bosco A., Cardinali R., 2006a. Long term effect of post weaning rhythm on the body fat and performance of rabbit doe. *Reprod. Nutr. Dev.* 46,195-204.

Cournut S., 2001. Le fonctionnement des systèmes biologiques pilotés : simulation à événements discrets d'un troupeau ovin conduit en trois agnelages en deux ans. Thèse de l'Université Claude Bernard, Lyon I. 491p.

De Blas J.C., and Mateos G.G., 1998. Feed formulation. In *The nutrition of the rabbit* (Eds De Blas, J.C., and J. Wiseman,), pp. 241-253. CABI publishing, CABInt., Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK.

Feugier A., Fortun-Lamothe L., 2006. Extensive reproductive rhythm and early weaning improve body condition and fertility of rabbit does. *Anim. Res.*, 55, In press.

Feugier A., Smit M.N., Fortun-Lamothe L., Gidenne T., 2006. Interaction between weaning age and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits. *Anim. Sci.*, 82, 493-500.

Fortun-Lamothe L., 2005. Energy balance and reproductive performance in rabbit does. *Anim. Reprod. Sci.*, 93, 1-15.

Fortun-Lamothe L., Prunier A., 1999. Effects of lactation, energetic deficit and remating interval on reproductive performance of primiparous rabbit does. *Anim. Reprod. Sci.*, 55, 289-298.

Fortun-Lamothe L., Sabater F., 2003. Estimation de la production laitière des lapines à partir de la croissance des lapereaux. 10ièmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, France, 19-20 Novembre 2003, 69-72.

Fortun-Lamothe L., Lamboley-Gaüzère B., Bannelier C., 2002. Prediction of body composition in rabbit females using Total Body Electrical Conductivity (TOBEC). *Livest. Prod. Sci.*, 78, 133-142.

Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2004. Growth, health status and digestion of rabbits weaned at 23 or 32 days of age. Proc 8th World Rabbit Congress , Puebla, Mexico, pp. 846-852.

Lebas F., 2005a. Productivité et rentabilité des élevages cynicoles professionnels en 2004. *Cuniculture Magazine*, 32, 100-101.

Maertens, L. 1992. Rabbit nutrition and feeding: a review of some recent developments. *J. Appl. Rabbit Res.* 15, 889-913.

Mendez J., De Blas J.C., Fraga M.J., 1986. The effects of diet and remating interval after parturition on the reproductive performance of the commercial doe rabbit. *J. Anim. Sci.*, 62, 1624-1634.

Parigi-Bini R., Xiccato G, 1998. Energy metabolism and requirements. In *The nutrition of the rabbit* (Eds De Blas, J.C., and J. Wiseman,), pp. 103-131. CABI publishing, CABInt., Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK.

Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M., 1989. Influenza dell' intervallo parto-accoppiamento sulle prestazioni riproduttive delle coniglie fattrici. *Coniglicoltura* 7, 51-57.

Parigi-Bini R., Xiccato G., Dalle-Zotte A., Carazzolo A., Castellini C., Stradaioli G., 1996. Effect of remating interval and diet on the performance and energy balance of rabbit does. *Proc 6th World Rabbit Congress, Toulouse, France, Vol 1*, 253-258.

Piattoni F., Maertens L., Mazzoni D., 1999. Effect of weaning age and solid feed distribution before weaning on performances and caecal traits of young rabbits. *Cah. Opt. Médit.*, 41, 85-91.

Pascual J.J., 2000. The use of ultrasound measurement of perirenal fat thickness to estimate changes in body condition of young female rabbits. *Anim. Sci.*, 70, 435-442.

Pascual J.J., Early weaning of young rabbits : a review, *World Rabbit Sci.*, 2001, 9 (4) 165-170

Pascual J.J, Cervera C., Blas E. and Fernandez-Carmona, 1998. Effect of high fat diets on the performance and food intake of primiparous and multiparous rabbit does. *Anim. Sci.*, 66, 491-499.

Pascual J.J., Cervera C., Blas E., Fernandez-Carmona J., 2003. High-energy diets for reproductive rabbit does: effect of energy source. *Nutr. Abstracts Rev.*, 73, 27R-39R.

Quesnel H., 2005. Etat nutritionnel et reproduction chez la truie allaitante. *INRA Prod. Anim.*, 18(4), 277-286.

Renquist B.J., Oltjen J.W., Sainz R.D., Calvert C.C., 2006. Relationship between body condition score and production of multiparous beef cows, *Livest. Prod. Sci.* In Press.

Rodriguez J.M., Ubilla E., 1988. Effect of sexual receptivity on ovulation response in rabbit does induced with GnRH. *Proc 4th World Rabbit Congress, Budapest, Hungary*, 504-508.

Simplicio J.B., Fernandez-Carmona J., Cervera C., 1988. The effect of the high ambient temperature on the reproductive response of the commercial doe rabbit. *Proc. 4th World Rabbit Congress, Budapest, Vol. 3*, 36-41.

Statistical Analysis System, *SAS User's Guide*, version 8, SAS Institute Inc., Cary, NC, 1999.

Xiccato G., Nutrition of lactating does. *Proc. 6th World Rabbit Congress, Toulouse*, 1996, 1, pp. 29-47.

Xiccato G., Trocino A., Sartori A., and Queaque P.I., 2000. Early weaning of rabbits: effect of age and diet on weaning and post-weaning performance. In *7th World Rabbit Congress* (ed. A. Blasco), Eds. WRSA Congress, Valence, Spain, vol. C, pp 483-490.

Xiccato G., Trocino A., Sartori A., Queaque P.I., Effect of parity order and litter weaning age on the performance and body energy balance of rabbit does. *Livest. Prod. Sci.* 85 (2004a) 239-251.

4 Discussion générale et perspectives

Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une approche systémique du fonctionnement des élevages cunicoles pour piloter ce système d'élevage vers une maîtrise durable de la conduite de la reproduction des lapines et de l'élevage des lapereaux jusqu'à l'âge d'abattage. Cette stratégie nous a permis de formaliser un plan d'action expérimentale pour résoudre notre problématique à l'échelle du système d'élevage (intégration des deux ateliers de production, respect de contraintes sociale et sanitaire).

Nos objectifs dans l'atelier maternité ont été d'évaluer l'influence respective du rythme de reproduction et de la durée de la lactation sur les performances de reproduction et l'état nutritionnel des lapines, à l'échelle d'un cycle puis de 4 cycles de reproduction. Nous avons également essayé de mettre en relation l'état nutritionnel de la lapine à l'insémination et sa fertilité. De plus, nous avons étudié l'influence de la conduite de la reproduction dans l'atelier maternité sur les performances des lapereaux dans l'atelier engraissement. Ce travail a consisté à évaluer les effets respectifs de l'âge au sevrage et de la composition nutritionnelle de l'aliment sur les performances de croissance et la santé des lapereaux.

Dans la partie qui va suivre, nous allons dans un premier temps discuter du pilotage proposé, c'est-à-dire de la pertinence des leviers choisis, pour résoudre la problématique. Dans un deuxième temps, nous discuterons tout d'abord des perspectives stratégiques pour optimiser la réponse du système d'élevage cunicole à la problématique. Enfin, nous aborderons l'intérêt d'utiliser l'approche systémique et la modélisation pour appréhender le fonctionnement des systèmes d'élevages.

4.1 Evaluation du pilotage proposé pour résoudre la problématique :

4.1.1 *Action des leviers « âge au sevrage » et « rythme de reproduction » sur les performances de l'atelier maternité*

4.1.1.1 Les performances de reproduction des lapines

Le modèle expérimental utilisé dans le chapitre 1, s'est avéré pertinent pour appréhender les effets respectifs de chaque levier à l'échelle d'un cycle de reproduction. **Notre travail montre que la durée de la lactation n'affecte pas les performances de reproduction (fertilité, prolificité) des lapines primipares.** Très peu d'études ont évalué

l'effet de l'âge au sevrage sur les performances de reproduction des lapines. Nos résultats confirment les travaux de Xiccatto et al. (2004a et 2005) qui ne constatent pas d'effet de la durée de la lactation (21, 26 ou 32 jours) sur la fertilité des lapines. Cependant, nous n'observons pas d'effet de la durée de la lactation sur la prolificité (chapitre 3) ce qui est contradictoire avec les résultats de Xiccatto et al. (2004a). Ces derniers observent qu'un âge au sevrage précoce (à 21 jours) réduit la prolificité des lapines multipares, suggérant un effet négatif de la réalisation du sevrage pendant le pic de lactation.

Notre travail démontre qu'une extensification du rythme de reproduction augmente la fertilité des lapines primipares (chapitres 1 et 3), en accord avec la littérature existante à ce sujet (Mendez et al., 1986 ; Cervera et al., 1993 ; Parigi-Bini et al., 1989 ; Xiccatto et al., 2004b et 2005 ; Castellini et al., 2006a). Toutefois, nous observons que cet effet positif d'une extensification du rythme de reproduction sur la fertilité, ne se confirme pas pour les lapines multipares, contrairement aux résultats de Castellini et al. (2006a). Cependant, en accord avec ces derniers auteurs, **un rythme de reproduction plus extensif que celui pratiqué actuellement dans les élevages, accroît la régularité des performances de reproduction dans le temps et la durée de la carrière productive des lapines (chapitre 3)**. Une insémination post-sevrage semble ainsi mieux adaptée à la physiologie de la reproduction des lapines car elle permet de s'affranchir des deux effets négatifs majeurs de la lactation pour le démarrage d'une nouvelle gestation (antagonisme hormonal et déficit énergétique : Fortun-Lamothe et Prunier, 1999 ; Fortun-Lamothe, 2005).

Dans la littérature, les effets du rythme de reproduction sur la prolificité des lapines sont contradictoires (Tableau 2). Notre travail montre, en accord avec les résultats de Xiccatto et al. (2005) et Castellini et al. (2006a), qu'**une extensification du rythme de reproduction n'augmente pas la prolificité des lapines à la mise bas**. A l'opposé, les résultats de Mendez et al. (1986), Parigi et al. (1989), Cervera et al. (1993) mettent en évidence une augmentation de la taille de la portée à la naissance lorsque le rythme de reproduction est plus extensif. Cette différence pourrait être liée à l'hétérogénéité des modèles expérimentaux utilisés. En effet, d'une part, l'effet de l'extensification est apprécié par comparaison de rythmes de reproduction différents selon les études (intensif, semi-intensif et/ou extensif), avec des souches de lapines différentes, conduites en saillie naturelle ou en insémination artificielle. D'autre part, les effets de la parité et du rythme de reproduction sur la prolificité des lapines sont rarement dissociés dans ces études. Or nos résultats montrent que les conséquences du rythme de reproduction sur les performances des lapines diffèrent pour les primipares et les multipares.

Tableau 2 : Influence du rythme de reproduction sur la fertilité et la prolificité des lapines

Référence	Rythme de reproduction (délai [MB-IA] en jours)	Souche génétique	Mode de conduite	Fertilité	Taille de portée à la naissance (nés vivants)	Taille de portée au sevrage	Notes	
Mendez et al., 1986	1	Néo-Zélandaise	Saillie naturelle	63,3 ^b %	7,4 ^b	5,9 ^b (sevrage à 28j)	Effet de la parité non étudié	
	vs 9			vs	vs	vs		vs
	vs 25			vs	vs	vs		vs
				80,3 ^a %	8,1 ^a	6,7 ^a (sevrage à 42j)		
Parigini et al., 1989	1 à 3	Hybride Hyla, Néo-Zélandais, Hybride Provisal (3 sites expérimentaux)	Saillie naturelle	71,7%	8,0	NS (sevrage à 34j en moyenne, tous sites confondus)	Effet de la parité étudié	
	vs 15 à 17			vs	vs			vs
				83,3%	8,6			
Cervera et al., 1993	1 à 7	Hybride Néo-Zélandais	Saillie naturelle	Délai MB-IA ↑ : Fertilité ↑ (Fertilité déduite par comparaison entre les intervalles [MB-IA] et [MB-MB])	7,3 ^b	NS (sevrage à 28j)	Effet de la parité non étudié. Femelles initialement nullipares	
	vs 8 à 14				vs			vs
	vs 15 à 21				vs			vs
	vs 21 et plus				vs			vs
					8,4 ^a			
Xiccato et al., 2005	2	Lignée maternelle hybride (Grimaud Frères)	IA	56,7 ^b %	NS	NS (sevrage à 21 ou 25j)	Effet de la parité non étudié, mais inclus dans les analyses	
	vs 11			vs				vs
	vs 26			vs				vs
				41,4 ^b %				
				80,6 ^a %				
Castellini et al., 2006a	11	Néo-Zélandaise	IA	Primipares / Multipares 48,8%/60,2%	NS	NS (sevrage à 26j)	Effet de la parité étudié	
	vs 27							vs
				NS				
Chapitre 1	11	Hybride Néo-Zélandais (INRA A0067)	IA	69%	NS	NS (sevrage à 23 ou 35j)	Effet de la parité non étudié. Femelles initialement primipares	
	vs 25							vs
				85%				
Chapitre 3	11	Hybride Néo-Zélandais (INRA 0067)	IA	Primipares 58% vs 75% Multipares NS	NS	(sevrage à 23 ou 35j) Taille de portée à 23j : Cycles 1,2,3: NS Cycle 4 : 7,7 vs 8,6	Effet de la parité étudié. Femelles initialement primipares	
	vs 25							vs

IA : Insémination artificielle ; NS : P<0,05

Dans notre travail, la combinaison d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation permet d'accroître les productivités numériques et pondérales par cycle dans l'atelier maternité. Cependant, **les effets positifs d'une conduite de la reproduction en insémination post-sevrage ne sont pas suffisants pour maintenir la productivité annuelle des lapines**, contrairement aux résultats de Castellini et al. (2006a). Ces auteurs démontrent qu'un délai de 1 jour entre le sevrage (à 26 jours post-partum pour tous les lots) et l'insémination artificielle (à 27 jours post-partum) permet d'accroître la réceptivité, la fertilité et la productivité des lapines par rapport à une conduite classique de la reproduction (insémination à 11 jours post-partum). L'influence de la durée de l'intervalle entre le jour du sevrage et celui de l'insémination sur les performances de reproduction des lapines nécessite de plus amples investigations. Nos résultats méritent d'être confirmés, car ils sont à replacer dans le contexte sanitaire difficile rencontré au cours de l'expérimentation du chapitre 3. En effet, les maladies bactériennes peuvent conduire à des infections utérines qui ont des répercussions négatives sur la fertilité en augmentant la durée de vie des *corpora lutea*, et donc le niveau de progestérone plasmatique au moment de l'insémination artificielle (Boiti et al., 1999). De plus, une Klebsiellose peut affecter les performances de reproduction des femelles, en augmentant les risques d'avortement (Boucher et Nouaille, 1999).

4.1.1.2 La sollicitation nutritionnelle et la longévité des lapines

Une augmentation de la concentration énergétique de l'aliment distribué aux femelles ne permet pas de résoudre totalement les problèmes liés au déficit énergétique et à la mobilisation corporelle des lapines (synthèse de Pascual et al., 2003). En effet, lorsque l'énergie est apportée dans l'aliment sous forme de lipides, cette allocation supplémentaire est utilisée prioritairement pour la production laitière sans bénéfice pour l'état corporel. Et un apport d'énergie sous forme d'amidon avant le sevrage au détriment de la teneur en fibres serait défavorable à la préparation nutritionnelle des jeunes et à leur viabilité ultérieure (Fortun-Lamothe, 2005). Le principal intérêt d'un âge au sevrage précoce réside dans la possibilité de réduire notablement la sollicitation nutritionnelle liée à la production laitière et de limiter ainsi la mobilisation énergétique corporelle des lapines (Xicatto et al., 2004a). Dans le chapitre 1, notre étude confirme la réduction de la mobilisation lipidique corporelle des lapines au cours d'un cycle de reproduction lorsque la durée de la lactation est réduite. De plus, **nos résultats suggèrent qu'une limitation de la durée de la lactation et du temps de**

superposition entre lactation et gestation grâce à une extensification du rythme de reproduction, réduisent la sollicitation nutritionnelle des lapines primipares (chapitre 1) et multipares (chapitre 3). Les effets de ces 2 leviers sur la sollicitation nutritionnelle des lapines s'additionnent. En effet, Bolet et Fortun-Lamothe (2002) constatent que les réserves énergétiques initiales de lapines qui suivent un rythme classique de reproduction de 42 jours (sans interruption) diminuent dès le deuxième cycle et ne sont pas restaurées au moment de la troisième parturition. Nos résultats confirment cette observation et mettent en évidence qu'une extensification de la conduite de la reproduction associée à une durée de lactation réduite, permet aux femelles de restaurer leurs réserves énergétiques initiales à la troisième parturition, et de les augmenter à la parturition suivante. Cette diminution importante de la sollicitation nutritionnelle des lapines est associée à un accroissement de leur longévité. Ces résultats confirment les travaux de Theilgaard et al. (2006) qui ont mis en évidence qu'un état corporel dégradé ou une importante mobilisation des réserves corporelles réduit la longévité des lapines, en augmentant leur risque de mourir ou d'être réformées (après trois IA non fécondantes successives). **Notre travail démontre que l'action combinée d'une extensification du rythme de reproduction et d'une réduction de la durée de la lactation accroît la longévité des lapines.** La méthodologie utilisée pour apprécier cet effet pourrait cependant être affinée avec un nombre de cycle de reproduction et un effectif d'animaux plus importants. L'analyse du taux de survie à partir de la considération des réformes involontaires a suffi à atteindre nos objectifs. Toutefois, « l'analyse de survie » permet d'étudier plus précisément la longévité. Ce modèle d'étude spécifique des données de survie est pertinent, car il permet de décrire une durée de carrière à partir de plusieurs fonctions du temps (Kalbfleisch et Pentice, 1980 ; Ducrocq et al., 1988). L'originalité de cette méthodologie concerne les données censurées (femelles encore en production à la fin de l'étude) qui peuvent être utilisées sans faire d'hypothèse sur la durée exacte de la carrière (Garreau et al., 2001). Cette méthode a été appliquée chez le lapin par Garreau et al. (2001), Sanchez et al. (2004) et Theilgaard et al. (2006) pour sélectionner des animaux sur la longévité ou pour détecter les principaux facteurs influençant la longévité des lapines. La fin de la carrière productive d'un animal résulte de la mise en œuvre des pratiques de réformes. Dans la littérature, des travaux de modélisation de fonctionnement d'un troupeau permettent d'étudier l'influence de différentes politiques de réforme ou de renouvellement (réforme et recrutement) sur la performance du système d'élevage en terme de production et de marge économique. Ces modèles articulant les décisions de conduite et le fonctionnement du troupeau sont souvent centrés sur la simulation, la comparaison de différents scénarios de

conduite et/ou la recherche d'une stratégie de conduite optimale (exemples : système d'élevage porcin : Rodriguez-Zas et al., 2006 ; système d'élevage bovin allaitant : Ingrand et al., 2002 ; Frasier et Pfeiffer, 1994 ; Oltjen et al., 1990 ; système d'élevage bovin laitier : Groenendaal et al., 2004 ; système d'élevage ovin allaitant : Cournut, 2001).

4.1.1.3 La relation entre l'état nutritionnel et les performances de reproduction

D'un point de vue général, les performances de reproduction des mammifères domestiques sont fortement perturbées si les besoins énergétiques et protéiques de l'organisme ne sont pas couverts. Les conséquences d'une modification de la couverture des besoins nutritionnels dépendent de l'intensité de la perturbation et vont d'une diminution du taux d'ovulation chez les espèces polyovulantes ou une irrégularité des cycles chez les espèces monoovulantes, à un arrêt total de la cyclicité (Monget et Martin, 1997). Cette situation de rupture témoigne de la limite de la capacité adaptative des animaux à éviter une demande métabolique excessive pour la reproduction (Blanc et al., 2004), et qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur leur équilibre homéostatique et donc sur leur santé (Bauman et Curie, 1980). Ce point de rupture relate une insuffisance de ressources alimentaires disponibles dans le cas des élevages extensifs ou une augmentation trop importante des besoins nutritionnels dans les élevages intensifs. Friggens (2003) rappelle que cette relation entre sollicitation nutritionnelle et performance de reproduction est en partie modulée par le type génétique. Chez les bovins laitiers, les schémas de sélection pour augmenter la production de lait ont entraîné un accroissement du déficit énergétique pendant les premières lactations. L'importance de ce déficit énergétique s'est traduit par une réduction de la fertilité (Butler, 2000 et 2005). Chez les lapins, la sélection des femelles a porté soit sur la taille de la portée à la naissance soit sur le poids de la portée au sevrage (donc indirectement sur la production laitière ; De Rochambeau, 1998). La comparaison de deux types génétiques a montré que la fertilité des lapines est plus faible et le déficit énergétique et la mobilisation corporelle plus importants chez les femelles parentales hybrides résultant des schémas de sélection précédemment cités, que chez des femelles moins prolifiques (-1 lapereau à la naissance ; Fortun-Lamothe et Bolet, 1998).

La relation entre les performances de reproduction et l'état nutritionnel chez le lapin est fort peu décrite dans la littérature, par rapport aux autres espèces. En effet, le déficit énergétique pendant la lactation est fortement impliqué dans la durée de l'ancœstrus post-

partum chez les vaches laitières ou allaitantes (Veerkamp et al., 2000 ; Grimard et al., 2002 ; Butler, 2005 ; Renquist et al., 2006). De même, chez la truie, ce déficit nutritionnel peut induire un retard du retour de l'œstrus après le sevrage (Quesnel, 2005). Notre travail dans l'atelier maternité a permis d'apporter des informations supplémentaires sur l'influence de l'état nutritionnel au moment de l'insémination sur la fertilité des lapines (chapitre 1). En effet, nos résultats montrent que la balance énergétique des femelles primipares de la parturition au jour de l'insémination est négative lorsqu'elles sont inséminées le 11^{ème} jour après la mise-bas, et positive lorsqu'elles sont inséminées le 25^{ème} jours après la mise-bas. Cela pourrait être expliqué par une augmentation d'ingestion alimentaire supérieure à l'augmentation de la production laitière. **Un bilan nutritionnel plus favorable avant l'insémination pourrait expliquer une fertilité supérieure.** En effet, les lots expérimentaux dans ce travail se différencient à partir du 11^{ème} jour de lactation. Il est donc possible que l'augmentation importante d'ingestion d'énergie digestible au cours des 14 jours suivants puisse stimuler l'axe gonadotrope, et accroître la fertilité des lapines (Booth, 1990 ; Khireddine et al., 1998). Pourtant, le poids des principaux tissus adipeux dissécables le jour de l'insémination est inférieur chez les femelles qui sont inséminées plus tardivement dans la lactation. Par conséquent, dans notre travail, le poids des principaux tissus adipeux dissécables au moment de l'insémination ne serait pas directement lié à la fertilité. Castellini et al. (2006a) ont étudié plus précisément cette relation. Ils observent qu'une quantité de réserves adipeuses trop importante ou trop faible réduit la fertilité des lapines. De même, Bonnano et al. (2005), à partir de l'élaboration de la première grille de notation d'état corporel chez la lapine (malgré des difficultés spécifiques importantes : fourrure, localisation des principales réserves adipeuses dans la cavité abdominale...), confirment ces résultats pour les lapines primipares. Cependant, Castellini et al. (2006a) n'observent pas de corrélation entre la quantité de réserves adipeuses et la fertilité lorsque les femelles possèdent un niveau intermédiaire de réserves adipeuses. Ces résultats et nos travaux suggèrent qu'à l'image de ce qui a été démontré chez d'autres espèces, il existe des niveaux seuils d'adiposité en deçà et au-delà desquels la fertilité est fortement réduite en relation avec les niveaux circulants de leptine (Chilliard et al., 1999). Pour des niveaux d'adiposité intermédiaires, c'est le bilan énergétique dans les jours qui précèdent l'insémination qui modulerait le fonctionnement de l'axe gonadotrope et influencerait la fertilité des lapines. Ce mode de régulation de la reproduction a été précédemment décrit chez d'autres espèces (Butler et Smit, 1989 ; Coop, 1966 ; Quesnel, 2005). La mesure d'un bilan énergétique précis est délicat chez la lapine, car il est difficile par exemple de déterminer individuellement la composition du lait. Il

conviendrait donc d'améliorer la mesure du bilan énergétique chez la lapine. De plus, la détermination en parallèle de la variation de l'état corporel n'est pas facile car les périodes concernées sont courtes et les méthodes de mesure *in vivo* ne sont pas très précises. L'évaluation du bilan énergétique réalisée dans le chapitre 1 nécessite d'être affinée en augmentant la fréquence des contrôles d'ingestion, en mesurant la digestibilité de l'énergie de l'aliment, et en estimant la production laitière des lapines par différence pondérale avant et après l'allaitement. Il convient de noter que notre mesure du bilan énergétique est en désaccord avec l'estimation faite par Pascual et al., (2003) qui observent que le déficit énergétique des lapines survient surtout en fin de lactation contrairement à de nombreux mammifères. Nos résultats suggèrent que chez la lapine, comme chez la vache laitière, le bilan énergétique négatif en début de lactation évolue en se restaurant en fin de lactation grâce à une augmentation progressive de la capacité d'ingestion par rapport à la production laitière qui se met en place rapidement (Grimard et al., 2002). Des études supplémentaires sont nécessaires sur ce point. L'utilisation d'indicateurs métaboliques ou hormonaux reflétant le statut nutritionnel des animaux pourrait apporter des informations complémentaires intéressantes sur la relation entre l'état nutritionnel à l'IA et la fertilité chez la lapine. En effet, les taux de glucose sanguin, d'acides aminés, d'acides gras non estérifiés (AGNE), d'insuline, d'hormones de croissance (GF et IGF-I) ou de cortisol peuvent informer directement l'axe hypothalamo-hypophyso-ovarien du statut nutritionnel de l'animal (Booth, 1990 ; I'anson et al., 1992) et affecter en conséquence son activité (par exemple la sécrétion d'hormones gonadotropes ; Quesnel, 2005). De même, le dosage de la leptine, hormone peptidique produite principalement par le tissu adipeux, s'avèrerait pertinent pour élucider cette relation (Chilliard et al., 1999). Ces indicateurs plasmatiques (glucose, AGNE, insuline, glycérol) peuvent également être intéressant pour évaluer *in vivo* les modifications de l'énergie corporelle au cours de la carrière productive de la lapine (Fortun-Lamothe, 1994). Toutefois, les résultats de Xiccato et al. (2004b) suggèrent que la concentration de ces indicateurs sanguins (Leptine, IGF-I, et AGNE) ne reflètent pas clairement les modifications de la balance énergétique causées par le rythme de reproduction (IA 2, 11 ou 26 jours après la mise-bas) et l'âge au sevrage (à 21 ou 25 jours). Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer plus précisément l'influence de ces leviers sur les performances de reproduction des lapines, via leur statut nutritionnel.

L'importance du maintien des réserves corporelles dans une zone intermédiaire pendant toute la carrière de la truie permet de limiter les effets négatifs sur les performances de reproduction et d'accroître leur longévité (Dourmad et al., 1994) et leur bien-être (Vieuille

et al., 1996). Le déficit énergétique pendant la lactation est exacerbé chez les femelles primipares à cause d'une capacité d'ingestion alimentaire réduite par rapport aux femelles multipares. Ce phénomène est confirmé chez la lapine, par les données d'ingestion du chapitre 3 et de nombreux travaux (Castellini et Battaglini, 1991 ; Simplicito et al., 1988 ; Parigi Bini et al., 1989 ; Battaglini et Grandi, 1991 ; Xiccato et al., 2004a). Lorsque la longévité des femelles est faible, le taux de renouvellement est élevé et la proportion de femelles primipares dans le troupeau est supérieure. Or, ces femelles étant moins productives, elles réduisent la productivité de l'élevage (exemple de l'élevage porcin : Stein et al., 1990). Il est donc essentiel de limiter la sollicitation des femelles primipares, pour améliorer la performance globale d'un élevage (productivité, bien être animal, coût, qualité,...).

Le changement d'échelle temporelle d'un cycle à 4 cycles de reproduction (chapitres 1 et 3) nous permet de pondérer l'influence positive d'une extensification du rythme de reproduction sur la fertilité (uniquement des lapines primipares), et de conforter l'absence d'effet sur la prolificité. De même, l'addition des effets bénéfiques sur l'état corporel de l'extensification et d'une réduction de la durée de lactation sur un cycle de reproduction (chapitre 1), a ainsi pu être confirmée sur 4 cycles de reproduction (chapitre 3). Au final, malgré l'accroissement de la régularité des performances de reproduction et de la durée de la carrière productive, la conduite alternative étudiée ne permettrait pas de compenser la perte de production liée à l'augmentation de l'intervalle entre deux mises bas. Elle réduit cependant le taux de réforme involontaire (la mortalité) et optimise certaines variables d'état dont la lecture intervient dans la décision de réformer volontairement les lapines (fertilité, état corporel). La conduite de la reproduction étudiée est donc susceptible de réduire considérablement le taux de renouvellement des femelles reproductrices dans les élevages cynicoles.

Dans une vision mono-caractère des performances de l'élevage (critère économique), la conduite étudiée dans l'atelier maternité est trop extensive. Cependant la performance d'un système d'élevage doit aujourd'hui intégrer de nombreuses autres contraintes (bien être animal, réglementation européenne, qualité, santé, contraintes sociales, protection de l'environnement...). L'intérêt de cette conduite plus extensive devra par conséquent être apprécié à la lumière de l'ensemble de ces contraintes. En réduisant la mortalité des femelles et en améliorant leur état corporel, cette conduite est plus respectueuse des animaux et améliore probablement leur bien être. Ceci répond d'ores et déjà à une demande sociale forte. Des données supplémentaires évaluant l'impact de de cette conduite sur le comportement et le statut immunitaire des lapines

pourraient renforcer cette opinion. Cette conduite de la reproduction s'inscrit donc dans une logique de développement durable dont la finalité est l'obtention d'une performance globale.

4.1.2 Action des leviers choisis dans l'atelier engraissement (âge au sevrage et aliment post-sevrage) sur la santé et la croissance des lapereaux

4.1.2.1 Les effets sur la santé

L'âge au sevrage a été identifié comme le facteur majeur affectant la santé digestive des lapereaux (chapitre 2). **Notre travail montre qu'un sevrage réalisé précocement à 23 jours d'âge augmente fortement le risque d'apparition des troubles digestifs chez le lapereau pendant la période post-sevrage (chapitres 2 et 3).** Les travaux portant sur l'influence de l'âge au sevrage sur la santé des lapereaux apportent des résultats contradictoires (Tableau 3).

Tableau 3 : Influence de l'âge au sevrage sur la santé, la croissance et l'ingestion des lapereaux

Référence	Age au sevrage j	Mortalité %	Croissance g/j/lap	Ingestion d'aliment solide	Notes
Prud'hon et Bel, 1968	14 vs 28	14j à 42j : NS 14j à 56j : NS	14j à 56j : NS	ND	
McNitt et Moody, 1992	14 vs 28	14j à 28j : NS après 28j : 20,3 vs 5,3	34,5 (14j à 64j) vs 40,2 (14j à 56j)	ND	
Ferguson et al., 1997	14 vs 49	14j à 70j : 13,8 vs 6,2	0j à 70j : 25,7 vs 28,6	15j à 28j : 4,63Kg/lot vs 5,5Kg/lot 28j à 70j : NS	Lait administré de 15j à 21j aux lap. sevrés à 14j via une canule stomacale
Piattoni et al., 1999	18 vs 32	18j à 56j : NS	18j à 56j : NS	25 à 56j : NS	
Xiccato, 2000	21 vs 25 vs 28 vs 32	21j à 56j : NS	21j à 32j : NR croissance inférieure des lap. sevrés à 21j 32j à 56j : NS	21j à 32j : NR ingestion plus faible des lap. sevrés à 21j 32j à 56j : NS	Traitement antibiotique préventif
Gidenne et Fortun-Lamothe, 2004	23 vs 32	32j à 45j : 17,0 vs 9,2 32j à 73j : NS	23j à 32j : 33,2 vs 36,6 32 à 73j : NS	23j à 32j : 360 vs 219 g/lap 32 à 73j : NS	
Gallois, 2005	21 vs 35	ND	21j à 42j : 33,8 vs 40,5 42j à 49j : NS	21j à 35j : +57% (lap. sevrés à 21j) 35j à 49j : NS	
Chapitre 2 Expérience 3	23 vs 35	23j à 35j : 23,8 vs 2,6 35j à 53j : 56,7 vs 13,8	23j à 35j : 26,7 vs 42,3 35j à 53j : 39,0 vs 42,8	23j à 35j : NS 35j à 53j : 95,7g/lap/j vs 105,7g/lap/j	
Chapitre 3	23 vs 35	Du sevrage à 50j : 40,8 vs 12,1 50j à 63j : NS	Du sevrage à 50j : 47,4 vs 53,3 50j à 63j : 53,0 vs 50,4	ND	

NS : P>0,1

ND : non déterminé

NR : données non reportées

Quelques études ne révèlent pas d'effet d'un sevrage précoce sur la mortalité (Prud'hon et Bel, 1968 ; Piattoni et al., 1999 ; Xiccato et al., 2000). Toutefois, dans cette dernière étude, un traitement prophylactique préventif a été réalisé par incorporation d'un antibiotique dans les aliments testés. En revanche, McNitt et Moody, (1992) et Ferguson et al., (1997) observent qu'un sevrage réalisé à 14 jours vs 28 jours est défavorable pour la santé des lapereaux. De même, Gidenne et Fortun-Lamothe (2004) enregistrent une mortalité

supérieure entre 32 et 45 jours d'âge (17% vs 9%) lorsque les lapereaux sont sevrés plus tôt (à 23 jours vs 32 jours d'âge), malgré la distribution d'une alimentation post-sevrage spécifique. Toutefois, dans cette expérience, la mortalité sur la période totale n'est pas affectée par l'âge au sevrage.

Le contexte sanitaire rencontré au cours de notre travail a été particulièrement difficile. Un agent pathogène responsable de plaies cutanées a été identifié dans l'expérience du chapitre 3, sur les lapereaux à la naissance (*Staphylococcus haemolyticus*). Aucun pathogène spécifique n'a été repéré sur les lapereaux dans les expérimentations du chapitre 2. Dans ce chapitre, les épisodes diarrhéiques ont résulté d'une croissance anarchique de la population colibacillaire dans le cæcum (expérience 3). De plus, l'Entérocolite Epizootique du Lapin (EEL) a été diagnostiquée (expérience 2). Cette pathologie digestive virulente est caractérisée par un ballonnement important, une absence de lésions inflammatoires et spécifiques, une diarrhée aqueuse de faible intensité suivie d'une baisse considérable d'ingestion et d'un taux de mortalité très élevé en l'absence de traitement (30 à 80%). A l'autopsie, l'estomac et le duodénum présentent une dilatation importante avec présence d'un contenu liquide et gazeux. Cette pathologie a émergé en France vers les années 1996-97 et s'est rapidement répandue en Europe. Actuellement, aucun agent étiologique n'a encore été identifié. Cependant cette maladie peut être reproduite expérimentalement à partir de différents inoculums. Des recherches étiologiques sont actuellement en cours (Licois et al., 2005). **Nos résultats suggèrent qu'un âge au sevrage précoce augmente fortement le risque d'apparition des troubles digestifs dans un contexte sanitaire difficile (chapitres 2 et 3).** De même, Gidenne et Fortun-Lamothe (2004) observent une sensibilité plus précoce et plus importante à une colibacillose lorsque les lapereaux sont sevrés à 23 jours par rapport à des animaux sevrés à 32 jours. Par ailleurs, dans le cas d'une inoculation expérimentale avec une souche d'*Escherichia coli* O103 entéropathogène à 28 ou 42 jours, Gallois (2006) observe également une sensibilité accrue et un développement plus précoce de la colibacillose provoquée lorsque le sevrage des lapereaux est réalisé à 21 jours par rapport à 35 jours. Selon l'auteur, de nombreuses substances du lait, spécifiques (anticorps) ou non (xanthine-oxydoréductase, lactopéroxydase, lactoferrine, certains acides gras et monoglycérides...), pourraient expliquer l'effet protecteur de l'allaitement. Par ailleurs, certaines de ces substances auraient également un rôle immunomodulateur, en favorisant la maturation du système immunitaire des jeunes (Kelly et Coutts, 2000). **L'ingestion de lait après 3 semaines d'âge semble donc très bénéfique pour la santé des lapereaux (chapitres 2 et 3).**

Dans le cas d'un sevrage conventionnel (≥ 28 jours), une stratégie alimentaire adaptée peut réduire l'apparition des troubles digestifs dans un contexte sanitaire défavorable. Gidenne et Licois (2005) rapportent qu'un aliment enrichi en fibres (20% vs 12%) et appauvri en amidon (10% vs 30%) réduit la sensibilité des lapereaux à une colibacillose expérimentale inoculée à 42 jours (sevrage à 28 jours). L'influence de la composition de l'aliment sur la santé des lapereaux sevrés précocement est encore peu décrite dans la littérature. **Dans notre travail, les effets négatifs du sevrage précoce sur la santé n'ont pas été compensés par une diminution de la teneur en amidon et une augmentation de la teneur en protéines de l'aliment (chapitre 2).** Nos résultats (expérience 1, chapitre 2) montrent qu'une substitution de l'amidon par des fibres (ADF) dans la ration distribuée après un sevrage précoce n'affecte pas la santé des lapereaux. Cependant, de nombreux travaux ont démontré l'effet bénéfique d'une augmentation du taux de fibres dans la ration sur la santé digestive des lapereaux sevrés conventionnellement entre 28 et 35 jours d'âge (synthèse : Gidenne, 2003). Par conséquent, **les exigences en fibres des lapereaux sevrés précocement seraient différentes de celles des lapereaux sevrés plus tardivement.** Par ailleurs, une augmentation du taux de protéines dans l'aliment n'améliore pas l'état sanitaire des lapereaux sevrés à 23 jours (expérience 2, chapitre 2), et pourrait même être défavorable pour leur santé (expérience 3, chapitre 2). Plusieurs hypothèses concernant la quantité et la nature des protéines utilisées pourraient expliquer cette observation. Sur le plan quantitatif, des études ont révélé qu'un taux excessif de protéines dans l'aliment peut augmenter le niveau d'ammoniac dans le cæcum, conduisant à une élévation du pH. Cette augmentation de pH pourrait permettre aux agents pathogènes de se développer et accroître ainsi le risque sanitaire (Irlbeck, 2001). Sur le plan qualitatif, l'aliment proposé dans l'expérience 3 du chapitre 2 pourrait contenir trop de tourteau de soja. En effet, Gutierrez et al., (2003) en comparant trois sources de protéines (concentré de pommes de terre, tourteau de soja, tourteau de tournesol) ont montré que la source de protéines influence la digestibilité de l'aliment et la viabilité des lapereaux sevrés précocement. Toutefois, dans cette étude, un traitement prophylactique préventif a été réalisé par incorporation d'un antibiotique dans les aliments étudiés. Par ailleurs, le tourteau de tournesol et le concentré de protéines de soja sont plus digestibles que le concentré de protéines de pommes de terre ou le tourteau de soja (Gutierrez et al., 2002). L'effet du taux de protéines de l'aliment sur la santé des lapereaux nécessite d'être confirmé dans un contexte sanitaire plus favorable et avec un effectif d'animaux plus important. En effet, les besoins nutritionnels des lapereaux doivent être étudiés plus précisément, car ils semblent dépendre de l'âge au sevrage des animaux.

4.1.2.2 Les effets sur l'ingestion et la croissance

En général, les lapereaux sevrés précocement ingèrent plus d'aliment solide par rapport aux lapereaux du même âge qui sont encore allaités, afin de compenser l'absence de lait (Xiccato et al., 2000 ; Gallois et al., 2005). Ensuite, pendant la période d'engraissement (après 35 jours), la quantité d'aliment ingérée devient similaire (Gallois et al., 2005). Globalement, les animaux montrant une adaptation précoce à l'ingestion d'aliment solide aurait donc une ingestion totale d'aliment supérieure pendant la période de croissance (Fortun-Lamothe et al., 2001). Nos observations ne sont pas en accord avec ces études, puisque les lapereaux sevrés précocement ingèrent une quantité d'aliment similaire pendant la période 23-35 jours et inférieure de 35 à 53 jours par rapport aux animaux sevrés à 35 jours (chapitre 2). La différence entre nos résultats et la littérature concernant les données d'ingestion s'explique par le contexte sanitaire défavorable qui a particulièrement affecté les lapereaux sevrés à 23 jours. Par ailleurs, comme l'ont observé Xiccato et al. (2000) comparant 4 âges au sevrage (à 21, 25, 28, ou 32 jours), les lapereaux ne s'alimentent pas durant les premiers jours suivant un sevrage très précoce (21 jours). Les auteurs observent alors que les lapereaux cherchent les points d'eau, car ils commencent à avoir faim et soif. Ils ne débutent l'ingestion d'aliment sec qu'après s'être désaltérés, confirmant ainsi la relation entre l'ingestion d'eau et d'aliment (Maertens et De Groote, 1990). Toutefois, une augmentation importante d'ingestion après 24 jours permet aux lapereaux sevrés à 21 jours de compenser ce retard. En effet, leur ingestion moyenne journalière n'est pas différente pendant la période post sevrage de celle des animaux sevrés à 25, 28 ou 32 jours.

Il a été mis en évidence que les lapereaux âgés de 5 à 8 semaines régulent leur ingestion d'aliment sur le niveau d'énergie digestible de la ration (Lebas et al., 1982). Mais avant le sevrage, la capacité des jeunes lapereaux allaités (âge < 28 jours) à réguler leur consommation d'aliment sur sa teneur en énergie digestible est controversée (Pascual et al., 1999 ; Fortun-Lamothe et al., 2001 ; Debray et al., 2002). Chez le lapereau sevré de moins de 4 semaines d'âge, aucune étude spécifique n'est disponible sur ce sujet. Dans notre travail (chapitre 2) les aliments comparés contiennent théoriquement la même teneur en énergie digestible. Pourtant, la quantité d'aliment ingérée par les lapereaux sevrés à 23 jours est parfois affectée par la composition de l'aliment (expériences 1 et 2, chapitre 2). D'autres facteurs de régulation sont donc mis en jeu. Des études plus spécifiquement orientées sur la régulation de l'ingestion du jeune lapereau seraient donc pertinentes.

La vitesse de croissance pendant la période post sevrage est inférieure chez les lapereaux sevrés précocement (chapitres 2 et 3), en accord avec les résultats précédents (Xiccato et al, 2000 ; Gidenne et Fortun-Lamothe, 2004 ; Gallois et al, 2005). Et dans ces études comme dans notre travail, une croissance compensatrice est observée en fin de période d'engraissement, permettant ainsi aux lapereaux sevrés précocement de compenser leur retard de poids. Cette croissance compensatrice semble s'effectuer après 50 jours d'âge. De plus, **nos résultats suggèrent que le niveau de fibres et de protéines de la ration doivent être inférieurs à 19% et supérieur à 18% respectivement, pour optimiser la croissance des animaux sevrés précocement.** Nos résultats doivent cependant être confirmés dans un contexte sanitaire plus favorable.

Le développement de la fonction digestive chez le jeune est guidé par une programmation ontogénique mais d'autres facteurs, tels que l'aliment ou la microflore, sont susceptibles de l'influencer (Kelly et Coutts, 2000). Une perturbation précoce (exemple de l'utilisation d'antibiotiques) de la première séquence d'implantation des bactéries du tube digestif chez le nouveau-né peut affecter l'équilibre microbien ultérieur, c'est-à-dire toutes les autres séquences d'implantation de la flore digestive au cours de la vie de l'animal (Abécia, 2006). Cette perturbation affecte par la suite la viabilité des jeunes, à un moment où ses effets directs (dernières traces d'antibiotiques) ont pourtant disparu depuis longtemps (Ducluzeau et Raibaud, 1979). En effet, la microflore symbiotique présente dans le tube digestif du lapin (essentiellement dans le colon et le caecum), en plus d'assurer la digestion microbienne, est également impliquée dans la santé digestive de son hôte. Elle constitue une protection contre les microorganismes potentiellement pathogènes (effet de barrière), stimule l'immunité de l'hôte et la diversification du répertoire de ses anticorps (Guarner et Malagelada, 2003 ; Lanning et al., 2000). Cependant l'équilibre de l'écosystème intestinal (interactions entre les structures et fonctions digestives et la flore intestinale) est fragile chez le lapereau âgé de 15 à 35 jours (Fortun-Lamothe et Boullier, 2004). Selon les auteurs, plusieurs facteurs semblent responsables de cette situation : 1- la microflore digestive n'est pas stabilisée jusqu'à 30-40 jours d'âge ; 2- le système immunitaire est encore immature à cet âge (développement de la structure immunitaire inachevé et diversification du répertoire d'anticorps particulièrement tardive chez le lapin) ; 3- le sevrage représente un changement alimentaire important (du lait maternel à l'aliment solide végétal) or l'aliment a un rôle essentiel dans l'équilibre de cet écosystème digestif (substrats d'implantation de la microflore, propriétés physico-chimiques du contenu intestinal). Par conséquent, il serait pertinent de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème digestif du lapin afin d'une part d'optimiser l'efficacité de la

digestion microbienne et d'autre part d'améliorer la santé digestive de l'animal. Ceci pourrait permettre de proposer de nouvelles stratégies alimentaires pour le lapereau en croissance.

Un sevrage réalisé précocement à 23 jours d'âge augmente fortement la sensibilité des lapereaux aux troubles digestifs pendant la période post-sevrage, et représente un facteur aggravant dans un contexte sanitaire difficile. L'ingestion de lait après 3 semaines d'âge semble très bénéfique pour la santé des lapereaux et les effets négatifs du sevrage précoce sur la santé des jeunes ne sont pas compensés par une stratégie alimentaire qui consiste à diminuer le taux d'amidon et augmenter le taux de protéines de l'aliment. Les besoins nutritionnels des jeunes lapereaux nécessitent d'être précisés pour optimiser la formulation des aliments destinés à cette catégorie d'animaux. En l'état actuel de nos connaissances et du contexte sanitaire, un sevrage à 23 jours semble donc trop risqué.

4.2 Perspectives pour optimiser la réponse du système d'élevage à la problématique et apports de l'outil systémique

4.2.1 Correction du pilotage pour optimiser la réponse à la problématique : perspectives stratégiques

4.2.1.1 Perspectives d'amélioration de la conduite des femelles

Le renouvellement du troupeau est la résultante du recrutement des futures reproductrices et de la réforme des femelles (Cournut, 2001). Dans ce travail, nous nous sommes limités à la considération de la réforme des lapines, plus précisément à l'étude de la mortalité (réforme involontaire) et des variables dont la lecture intervient dans la décision de réformer volontairement les lapines (fertilité, état corporel). Dans la partie qui va suivre, nous nous intéresserons à des perspectives permettant d'accroître les performances de l'atelier maternité grâce à l'amélioration de l'efficacité de l'élevage des jeunes femelles.

Dans la majorité des élevages cunicoles, les jeunes femelles sont achetées à l'âge d'un jour et élevées de la même manière que les lapins de boucherie jusqu'au départ de leurs congénères pour l'abattage. Cependant, cette situation ne semble pas préparer correctement les femelles à la sollicitation nutritionnelle importante à laquelle elles seront soumises durant leur carrière reproductive dans l'atelier maternité. Et la conduite de l'élevage des jeunes

reproductrices peut avoir des conséquences sur leurs performances de reproduction ultérieures (Nizza et al., 1997 ; Rommers, 2003). La prise en compte des jeunes femelles comme un atelier à part entière et des stratégies de conduite de cet atelier avant la première insémination semble intéressant dans la perspective d'améliorer l'état corporel et la capacité d'ingestion ultérieurs des lapines (Xiccato et al., 1999). **Il pourrait donc être judicieux de modifier la structure du système biotechnique proposé (confère partie 2.1.1) en ajoutant un atelier supplémentaire : l'atelier d'élevage des jeunes lapines reproductrices.** Différents leviers d'action pourraient nous permettre de piloter cet atelier. Plusieurs travaux (Parigi-Bini et Xiccato, 1993 ; Rommers et al., 2001 ; Quevedo et al., 2005) nous laissent suggérer que pour un génotype donné, **les principaux facteurs affectant le développement morphologique et physiologique des jeunes lapines semblent être l'alimentation pendant leur croissance et l'âge à la première insémination.** Ces deux leviers d'action semblent judicieux, ils pourraient affecter les performances ultérieures des lapines.

L'âge à la première IA

L'âge à la première insémination est un levier essentiel, car il module l'entrée des femelles dans l'atelier maternité. Dans notre travail expérimental, l'âge des femelles à la première insémination a été fixée à 17,5 semaines. Selon Rommers et al. (2004), lorsque les femelles sont nourries à volonté, un âge à la première insémination de 14,5 semaines comparé à 17,5 semaines n'affecterait pas les performances de reproduction, mais augmenterait significativement la capacité d'ingestion des femelles pendant la première lactation (+11,2%). **Il serait donc possible de réduire l'âge à la première insémination sans affecter les performances de croissance tout en améliorant la capacité d'ingestion des femelles primipares. Ce gain de temps pourrait être investi par la suite dans une extensification du rythme de reproduction dans l'atelier maternité par rapport au rythme classiquement pratiqué dans les élevages.**

L'alimentation des futures reproductrices (niveau alimentaire et composition de l'aliment)

D'un point de vue quantitatif, un rationnement alimentaire pratiqué avant la première mise à la reproduction n'affecte pas notablement les performances de reproduction et la longévité des lapines (Coudert et Lebas, 1985 ; Fortun et Lebas, 1990). Cependant pour un même âge à la mise à la reproduction (17-18 semaines), Rommers et al. (2004) constatent que les lapines qui ont subi une restriction alimentaire à partir de 5 semaines d'âge sont plus prolifiques à la première mise bas comparées à celles qui sont alimentées à volonté. Par ailleurs, la restriction alimentaire pendant la période d'élevage des jeunes femelles permet d'accroître l'homogénéité des poids et d'éviter un dépôt adipeux excessif à la première insémination (Rommers et al. 2001). Il est communément admis que le niveau d'alimentation recommandé pour les jeunes femelles dépend fortement de l'âge à la première insémination (Maertens, 1992). Pour un âge précoce à la première IA (15-16 semaines, correspondant à 70-80% du poids adulte) une alimentation à volonté est bénéfique. Un poids vif minimum d'environ 4 kg le jour de l'insémination (à 14,5 semaines d'âge) semble nécessaire pour augmenter la prolificité à la première parturition (Rommers et al., 2002). Et pour un âge à la première IA tardive (17-18 semaines) il est recommandé d'appliquer une restriction alimentaire (environ 35g d'aliment distribué par Kg de poids vif) avant la première mise à la reproduction, afin d'éviter un engraissement excessif défavorable à leurs performances de reproduction ultérieures (Maertens, 1992). La gestion de l'alimentation des jeunes femelles sur un plan quantitatif nécessite des études supplémentaires pour évaluer plus clairement les conséquences potentielles du niveau d'alimentation avant la première insémination sur les performances de reproduction ultérieures.

D'un point de vue qualitatif, la composition de l'aliment distribué aux jeunes femelles semblent également être un point important. En effet, **l'augmentation du taux de fibres dans l'aliment des futures reproductrices pendant la période d'élevage permet d'accroître leur capacité d'ingestion ultérieure.** Cette capacité d'ingestion supérieure est observée pendant leur période de croissance et leur première gestation. Elle permettrait ainsi de réduire le déficit énergétique pendant la première lactation (Xiccato et al., 1999). De plus, la capacité d'ingestion est accrue ultérieurement durant les différentes lactations au cours de leur carrière productive (Nizza et al., 1997). **Par ailleurs, cette augmentation du niveau de fibres dans l'aliment des jeunes femelles a des répercussions positives sur les performances de reproduction.** En effet, elle permet d'augmenter le poids de la portée à 21

jours, au sevrage (à 35 jours) ainsi que le nombre de lapereaux sevrés, sans affecter la fertilité (Nizza et al., 1997), ni la durée de la carrière productive (Pascual et al., 2002).

Ainsi, l'incorporation d'un atelier de préparation des jeunes femelles reproductrices est une voie prometteuse pour affiner le pilotage du système d'élevage cunicole vers la résolution de la problématique. Dans cet atelier, la stratégie alimentaire (quantitative et qualitative) associée au choix de l'âge à la première insémination sont deux leviers d'action majeurs qui semblent influencer les performances de croissance et l'ingestion des futures femelles reproductrices. Ces leviers affecteraient également la capacité d'ingestion et les performances de reproduction des lapines dans l'atelier maternité, et en conséquence leur bilan énergétique et leur état corporel. Dans ce dernier atelier, un rythme de reproduction plus extensif associé à une durée de lactation réduite s'est avéré pertinent pour résoudre en partie notre problématique (confère 4.1). On peut suggérer la mesure du bilan énergétique des femelles comme nouvelle variable d'état pour renseigner sur la réponse des animaux à l'action de ces nouveaux leviers. Le rythme de reproduction à 56 jours mérite d'être étudié avec l'intégration et le management en amont du nouvel atelier d'élevage des futures femelles reproductrices. Par contre, la durée de la lactation choisie dans notre travail (23 jours) s'est montrée risquée en matière de santé digestive des lapereaux (confère 4.2) et nécessiterait d'être allongée. Un sevrage pratiqué entre 25 et 28 jours d'âge permettrait une très faible superposition de la gestation et de la lactation chez la femelle et laisserait plus de temps aux lapereaux pour la mise en place de l'ingestion d'aliment sec et le développement de leur écosystème digestif, tout en bénéficiant de la protection conférée par le lait maternel.

4.2.1.2 Perspectives pour préserver la santé des lapereaux

Dans notre travail, le taux d'énergie était invariant dans la ration des lapereaux. Cependant Fortun-Lamothe et al., (2006) ont montré qu'une distribution autour du sevrage (à 35 jours) d'un aliment riche en énergie (lipides) et en fibres avait des répercussions bénéfiques sur l'état sanitaire des lapereaux en croissance. En effet, le lait de lapine est très riche en lipides (13% du poids frais), et le jeune lapereau possède l'équipement enzymatique (lipases gastriques) approprié pour les digérer (Perret, 1980). Il peut donc digérer un aliment

riche en matières grasses. En effet, une substitution dans l'aliment péri-sevrage de l'amidon par des fibres et des graisses végétales augmenterait la digestibilité des fibres et des matières grasses ainsi que la croissance post-sevrage (Debray et al., 2001). **L'incorporation de lipides dans l'aliment des lapereaux sevrés précocement pourrait faire l'objet de nouvelles stratégies alimentaires.** L'influence des aspects qualitatifs (nature des acides gras) et quantitatifs (taux d'incorporation) de l'aliment sur la santé, l'ingestion, les performances de croissance et les capacités digestives des lapereaux devront être étudiés. L'évaluation des capacités digestives des jeunes lapereaux (digestibilité de l'aliment) a fait l'objet d'études récentes mais mérite d'être encore approfondi (Gallois, 2006). En effet, la méthode de référence (Méthode « Europe » ; Perez et al., 1995) est validée pour des animaux âgés d'environ 40 jours. Elle suppose que l'ingéré et l'excrété soient stables pendant la période de mesure. Mais ce n'est pas le cas pour des animaux jeunes autour du sevrage notamment entre 21 et 28 jours (Gallois, 2006).

Une ingestion plus précoce et plus importante d'aliment solide sous la mère permet de stimuler la maturation fonctionnelle du caecum du lapereau (Castellini et al., 2006b ; Nizza et al., 2002 ; Maertens et Piattoni, 2001) et d'améliorer sa santé digestive, son ingestion et sa croissance après le sevrage (Pascual, 2001). **Des études plus spécifiquement orientées sur la stimulation de l'ingestion du jeune lapereau seraient pertinentes.** L'appétence (arômes), la composition nutritionnelle (teneur en énergie, en fibres, en protéines, en sucres simples), ou les propriétés technologiques du granulé (taille, diamètre ou dureté) pourraient jouer un rôle important.

Différents additifs peuvent également être incorporés dans l'aliment pour améliorer la santé des lapereaux. L'ajout d'extraits enzymatiques (beta-glucanase, beta-xylanase, alpha-amylase, pectinase) dans l'aliment post-sevrage distribué à des lapereaux sevrés précocement (à 25 jours) jusqu'à 39 jours a permis de réduire la mortalité de 25 à 60 jours de 8 points (15% vs 7%) par rapport à la distribution d'un aliment non supplémenté (Gutierrez et al., 2002). Ces résultats nécessitent cependant d'être confirmés sans couverture antibiotique préventive (antibiotiques incorporés dans les aliments testés). Des essais d'incorporation de probiotiques ont également été réalisés. L'administration d'un mélange de probiotiques à base de bactéries du genre *Lactobacillus*, *Streptococcus* et de levure du genre *Saccharomyces* dans l'eau de boisson, a permis de réduire de plus de 50% (18% vs 8%) l'apparition des troubles digestifs après le sevrage, résultats de 4 expérimentations sur un total de 448 animaux (Hollister et al., 1989). Cependant El-Hindawy et al. (1994) n'ont pas observé d'effet de la supplémentation en probiotiques dans l'aliment sur la santé. En

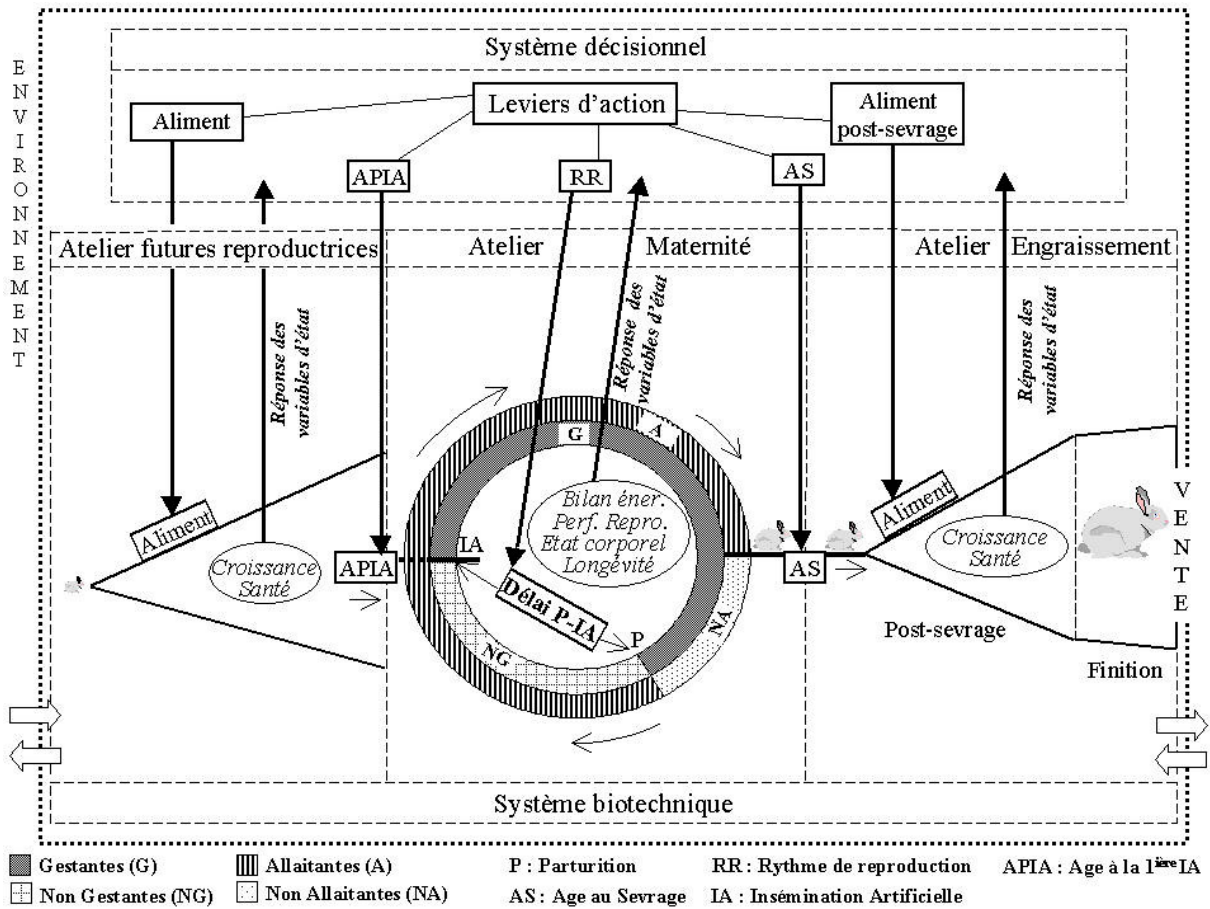
revanche, ils ont mis en évidence une amélioration de la vitesse de croissance après le sevrage, en accord avec Trocino et al. (2005).

De plus, il serait judicieux d'aborder la santé du lapereau au niveau de l'écosystème digestif. La composition de la flore digestive (biocénose) et son interaction avec le milieu (biotope) nécessitent d'être étudiées. Dans cet objectif, l'origine de cette microflore symbiotique (flore maternelle et environnement) est une notion essentielle, notamment la transmission mère/jeune. En effet, Abécia et al. (2006) ont montré que l'utilisation d'antibiotiques chez les lapines modifie la composition de la flore chez les lapereaux. Ce dernier résultat est un nouvel élément indiquant les conséquences des pratiques d'élevage dans l'atelier maternité sur les animaux de l'atelier d'engraissement. Par ailleurs, dans une logique de développement durable et dans les perspectives d'évolution de la réglementation européenne, il est nécessaire de réaliser des travaux portant sur les besoins nutritionnels des lapereaux en l'absence d'utilisation d'antibiotique à la fois chez les lapereaux étudiés mais aussi chez les mères dont ils sont issus. Une partie des effets contradictoires de la composition de l'aliment sur la santé des jeunes lapereaux pourrait être expliquée par cette différence de méthode.

Conclusion

A partir du modèle conceptuel proposé (Figure 9), plusieurs pistes de recherches pourraient permettre d'affiner le pilotage du système d'élevage cunicole vers la résolution de notre problématique (Figure 11). Tout d'abord, nous proposons l'intégration d'un atelier « élevage des futures femelles reproductrices » piloté par un levier alimentaire qualitatif et/ou quantitatif en interaction avec le levier « âge à la première IA » qui module l'entrée des futures femelles reproductrices dans l'atelier maternité. Les répercussions de l'action de ces deux leviers doivent être évaluées dans cet atelier (sur la croissance et la santé des jeunes femelles), mais également sur la réponse des variables d'état des deux ateliers en aval (maternité et engraissement) et à différentes échelles temporelles (appréciation de la persistance des effets avec la parité).

Figure 11 : Schéma conceptuel dynamique du fonctionnement du système d'élevage cunicole : stratégie de résolution de notre problématique



Ensuite dans l'atelier maternité, l'influence du rythme de reproduction mérite d'être confirmé dans un contexte sanitaire plus favorable à l'échelle de plusieurs cycles de reproduction. L'impact du rythme de reproduction (à 56 jours) en interaction avec un âge au sevrage moins précoce (25-28 jours) sur les performances de reproduction, l'état corporel et la longévité des femelles requiert d'être déterminé. Nous proposons une nouvelle variable d'état, le bilan énergétique, pour mesurer les effets de ces nouveaux leviers.

Les conséquences de l'action de ces leviers dans l'atelier engraissement nécessiteront une appréciation à l'échelle de plusieurs cycles (estimation des effets avec des lapereaux issus des différentes parités). Enfin, dans l'atelier d'engraissement, l'évaluation des effets d'un âge au sevrage précoce et de l'alimentation post sevrage sur la croissance et la santé des jeunes nécessite de plus amples investigations dans un contexte sanitaire moins défavorable que celui rencontré au cours de ce travail (détermination des besoins en fibres, protéines et lipides des lapereaux). De nouvelles stratégies alimentaires pourraient également être testées (incorporation d'additifs : extraits d'enzymes, probiotiques ...). Le passage à un niveau

d'organisation inférieur (écosystème digestif) semble être nécessaire pour appréhender la santé digestive du lapereau. Et dans cet objectif, il serait nécessaire d'étudier la transmission de la flore maternelle à sa descendance et les relations entre la composition de l'écosystème digestif de la mère et celle du lapereau.

Ces perspectives rendent compte des nombreux pilotages possibles et imaginables offerts par une vision globale, pluridisciplinaire d'une problématique.

4.2.2 Les apports de l'outil systémique

L'approche systémique peut être utilisée pour de multiples finalités, ses avantages sont nombreux. Dans le cadre de ce travail cet outil méthodologique nous a permis de :

- **Organiser les connaissances pour formaliser une stratégie de résolution de notre problématique**

La démarche systémique nous a servi de méthodologie pour réaliser une modélisation conceptuelle du fonctionnement des élevages cunicoles. Pour élaborer cette représentation graphique, nous avons identifié, hiérarchisé et mis en relation les éléments du système impliqués dans la problématique considérée. Pour parvenir à conceptualiser ce système d'élevage, nous avons ensuite choisi des leviers d'action et des variables rendant compte de l'évolution de l'état du système (variables d'état) sous l'action de ces leviers. La démarche systémique nous a ainsi guidé dans l'élaboration d'une stratégie d'action qui a débouché concrètement sur un plan d'action expérimentale. Puis l'expérimentation nous a permis d'évaluer la réponse du système à l'action des leviers biotechniques choisis. Le caractère pluridisciplinaire de notre problématique a motivé notre choix de développer une approche globale, et de mettre ainsi en relation les ateliers maternité et engraissement au sein du système d'élevage cunicole.

- **Proposer un modèle conceptuel générique pour les élevages cunicoles et favoriser la communication**

Modéliser c'est concevoir puis dessiner une image à la ressemblance de l'objet (Le Moigne, 1977). La ressemblance fait appel à la notion de généricité, d'analogie. La généricité

du modèle conceptuel proposé dans notre travail a été illustrée en l'utilisant comme « patron de travail » pour proposer des perspectives stratégiques (Figure 11). Un modèle est toujours plus simple que la réalité, il nous permet ainsi de mieux la comprendre et de l'utiliser pour orienter nos actions. Cependant, la transposition d'un modèle conceptuel d'un domaine à un autre est un exercice difficile qui nécessite une validation rigoureuse, car elle définit une nouvelle complexité. Par exemple, la transposition du schéma conceptuel proposé à un système d'élevage porcin serait tout à fait possible. Cependant, l'organisation des connaissances (définition, classification et hiérarchisation des leviers d'action et des variables d'état) et l'amplitude d'action des leviers dans une problématique donnée, seraient différentes. En effet, des particularités physiologiques spécifiques comme par exemple la présence d'un anæstrus de lactation chez la truie, réduit considérablement l'amplitude d'action du levier « rythme de reproduction » mais renforce l'importance du levier « âge au sevrage ».

La représentation graphique est le langage de la systémique. Le langage graphique a de nombreux avantages (Bertin, 1973) :

- il permet une appréhension globale et rapide du système représenté (après apprentissage)
- il contient une forte densité d'informations pluridisciplinaires dans un espace limité (économie de moyen)
- il est monosémantique et semi formel (faible variabilité d'interprétation)
- il possède une bonne capacité heuristique (travail de groupe)

Ces quatre atouts font de l'approche systémique un outil efficace de communication. Elle favorise l'organisation des connaissances par la construction de modèles facilement communicables et utilisables dans la réflexion et l'action. Cette approche est donc utilisée par exemple pour le management en entreprise (Mélèse, 1991 ; Mac Namara, 2002). Dans le cas particulier du management de la qualité et de la mise en œuvre de la norme ISO 9001 version 2000, cette approche a été choisie par l'AFNOR pour élaborer la cartographie des processus de l'entreprise à certifier. Elle permet de mettre en évidence les points faibles de l'organisation en place et de proposer des stratégies d'amélioration du fonctionnement (efficacité des flux d'informations et de produits) de l'entité étudiée (AFNOR, 2000).

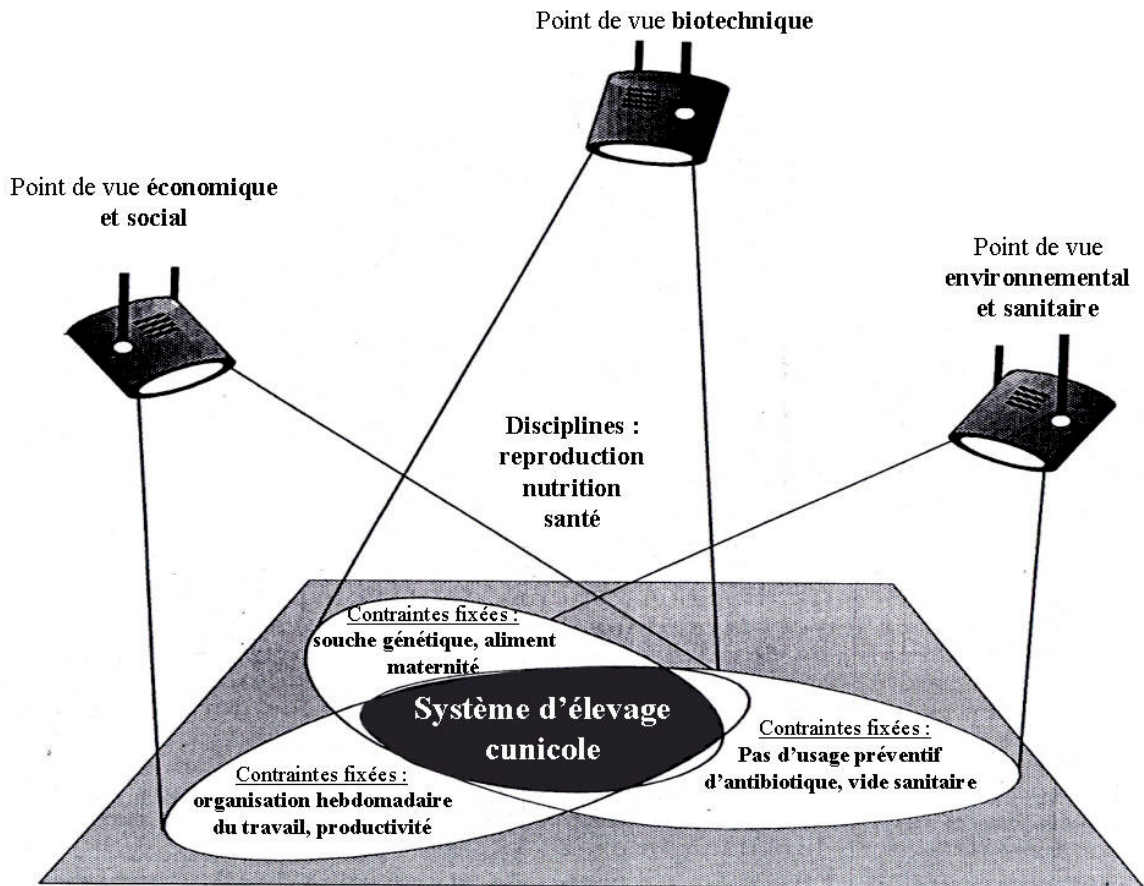
- **Intégrer la notion de durabilité**

La modélisation systémique fonde son originalité, comme toute complexité, sur sa capacité à devenir en fonctionnant et fonctionner en devenant (Le Moigne, 1977). En effet, l'approche systémique fait déplacer perpétuellement le modélisateur entre la structure

(composition), l'activité (fonction) et l'évolution (historique) du système pour le définir, sans jamais épuiser sa compréhension. C'est ce que Le Moigne (1977) appelle *la triangulation systémique*. Cette considération tripolaire s'impose pour piloter durablement un système d'élevage, c'est-à-dire assurer sa survie et sa pérennité. Et par analogie avec l'organisme vivant (Sauvant, 1994), ce sont les régulations homéostatiques et téléophoriques du système d'élevage qui vont assurer sa durabilité. Pour Landais (1998), la durabilité d'un système d'élevage se définit par sa viabilité (rentabilité économique), sa vivabilité (lien social), sa reproductibilité (renouvellement des ressources) et sa transmissibilité (facilités sociale et économique liées à la succession). Cet auteur, comme Allaire et Dupeuple (2004), souligne l'ampleur de la difficulté à s'emparer de ce concept de durabilité et à le traduire sous forme de questions, à mettre au point des indicateurs applicables à l'exploitation agricole, à cause principalement de la globalité des réflexions et des changements d'échelle que cela implique. Ces auteurs rappellent que la question des indicateurs de durabilité est posée depuis la définition de ce concept proposé par Bruntland (CMED, 1989) et la conférence de Rio-de-Janeiro (1992) : « Répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». Par sa vision globale, son champ d'action pluridisciplinaire et l'intégration possible de différentes échelles, **l'approche systémique, et plus généralement la modélisation, est une méthode d'approche pertinente de la durabilité des systèmes d'élevage** (Gibon et al, 1999a ; Legay, 1996). Les travaux de recherches à ce sujet sont entrepris dans une grande variété de points de vue, d'échelles (de la société ou d'une filière animale par exemple, à l'utilisation d'un nutriment dans le tube digestif d'un animal ; Gibon et al, 1999a) et de caractérisations de la durabilité (Hansen, 1996).

La conduite de la reproduction s'est avérée être un modèle pertinent pour réaliser une approche systémique des élevages cunicole car elle nous a permis d'*explorer la réalité* en intégrant différents points de vue (Legay, 1996), différentes demandes (éleveur, société) et différentes contraintes à l'échelle du système d'élevage (Figure 12).

Figure 12 : Trois points de vue du système d'élevage cunicole intégrés dans notre travail (modifié de Landais et Bonnemaire, 1994).



L'intégration de différents points de vue (contraintes fixées), le changement de niveau d'organisation (d'un atelier de production au système d'élevage) et d'échelle temporelle (d'un cycle à quatre cycle de reproduction) nous a permis d'appréhender le système d'élevage cunicole de manière globale, originale et pluridisciplinaire. **L'approche systémique que nous avons réalisé nous a permis d'avoir une vision plus réaliste de la problématique.** La recherche de stratégies de pilotage du système d'élevage cunicole doit en effet intégrer de nouveaux critères (bien être animal, aspects sociaux et environnementaux, réglementation européenne, qualité...). Cette démarche s'inscrit dans une logique de développement durable. Des investigations importantes sur ce point sont nécessaires, pour appliquer et adapter à l'élevage cunicole différents indicateurs de durabilité déjà existants à l'échelle de l'exploitation agricole (exemple : la méthode IDEA proposée par le ministère de l'Agriculture ; Vilain et al., 2003) et/ou élaborer également d'autres critères d'évaluation opérationnels à différents niveaux (producteur, groupement de producteurs...).

Conclusion générale

La principale originalité de ce travail de thèse porte sur la stratégie retenue pour aborder la problématique. Tout d'abord, la modélisation conceptuelle du fonctionnement des élevages cynicoles nous a permis d'organiser nos connaissances, de choisir des leviers d'action majeurs (rythme de reproduction, âge au sevrage, alimentation des jeunes) et des variables d'état pertinentes (fertilité, prolificité, état corporel, longévité, santé et croissance des jeunes) rendant compte de l'évolution de l'état du système dans le cadre de notre problématique. Puis, notre travail expérimental nous a permis d'évaluer la réponse du système sous l'action de ces leviers. Notre modèle conceptuel comporte un système décisionnel représenté par l'éleveur et un système biotechnique comportant deux ateliers (maternité et engraissement). Une des originalités de notre travail a consisté à mettre en relation les performances obtenues dans les deux ateliers et notamment les conséquences des choix biotechniques réalisés dans l'atelier maternité sur l'atelier engraissement.

L'ensemble des données que nous avons obtenu suggère qu'une extensification du rythme de reproduction associée à une réduction de la durée de la lactation améliore l'état corporel des lapines au cours des cycles de reproduction, la fertilité des femelles primipares et la durée de leur carrière productive. Toutefois, malgré une meilleure régularité des performances de reproduction, cette conduite n'ayant pas d'effet sur la prolificité, elle ne permet pas de compenser la perte de production liée à l'augmentation de l'intervalle entre deux mises bas à l'échelle d'une année. La prise en compte d'un atelier « élevage des futures femelles reproductrices » piloté par un levier alimentaire qualitatif et/ou quantitatif en interaction avec le levier « âge à la première IA » pourrait permettre de corriger cette réduction de production par unité de temps. La conduite de la reproduction étudiée dans l'atelier maternité réduit le taux de réforme involontaire (la mortalité) et optimise certaines variables d'état dont la lecture intervient dans la décision de réformer volontairement les lapines (fertilité, état corporel). Elle est donc susceptible de réduire le taux de renouvellement des femelles reproductrices dans les élevages cynicoles, répondant ainsi à la demande sociétale. De plus, notre travail dévoile l'antagonisme entre des variations importantes de l'état corporel des lapines au cours des cycles de reproduction successifs et la longévité des lapines. Il renforce ainsi l'hypothèse qu'un rythme de reproduction plus extensif que celui pratiqué actuellement est plus adaptée à la physiologie des lapines dans un contexte d'élevage qui demande une production continue. La conduite de la reproduction est un élément

certainement important pour le bien-être de la lapine, qui mérite autant d'attention que les conditions de logement (dimension de la cage par exemple).

Un sevrage réalisé à 23 jours augmente fortement la sensibilité des lapereaux aux troubles digestifs pendant la période qui suit le sevrage, et représente un facteur aggravant dans un contexte sanitaire difficile (contexte dans lequel se sont déroulées nos expérimentations). Et cet effet négatif sur la santé des jeunes n'est pas compensé par une stratégie alimentaire qui consiste à diminuer le taux d'amidon et augmenter le taux de protéines de l'aliment. Les répercussions négatives dans l'atelier d'engraissement de la conduite de la reproduction étudiée mettent en évidence la nécessité de manipuler le levier « âge au sevrage » avec prudence. Les besoins nutritionnels des lapereaux semblent dépendre de l'âge au sevrage et nécessitent d'être précisés pour préserver leur santé digestive en optimisant la formulation alimentaire.

Ce travail souligne l'importance de mettre en relation les ateliers maternité et engraissement et l'intérêt de réaliser des études à l'échelle du système d'élevage cunicole. En effet, l'intégration de différents points de vue (contraintes fixées), le changement de niveau d'organisation (d'un atelier de production au système d'élevage) et d'échelle temporelle (d'un cycle à quatre cycles de reproduction) nous a permis d'appréhender le système d'élevage cunicole dans sa globalité et d'avoir ainsi une vision plus réaliste de la problématique.

-A-B-

- Abécia L., 2006. Characterization of caecal microbial population of the rabbit : effect of feeding level and antibiotics supplementation on the biodiversity and nitrogen recycling. Memoria de Doctor Veterinaria, Universidad de Zaragoza, Facultad de veterinaria, 211p.
- Allaire G., Dupeuple T., 2004. Des concepts aux indicateurs du développement durable : multidimensionnalité et responsabilisation. Développement Durable et Territoires, Varia, 10p.
- Alstin F., Nilsson M., 1990. Le système d'hydrolyse Soxtec[®] améliore les méthodes officielles de dosage des matières grasses totales. Ind. Aliment. Agric., 107, 1271-1274.
- Association Française de Normalisation (AFNOR), 2000. Systèmes de management de la qualité, exigences. NF en ISO 9001 version 2000. AFNOR, 24p.
- Azard A., 2006. La production cunicole française. Caractérisation des systèmes de production et perspectives d'évolution. ITAVI, service économie, juin 2006, 78p.
- Battaglini M., Grandi A., 1991. Effetto della fase fisiologica, della stagione e dell'ordine di parto sul comportamento alimentare della coniglia fattrice. Proc. IX Congresso Nazionale Aspa, Roma, 465-475.
- Bauman D.E., Currie W.B., 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis, J. Dairy Sci., 63, 1514-1525.
- Bennegadi N., 2002. Les entéropathies non spécifiques du lapin en croissance: impacts des facteurs microbien et nutritionnel. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. 161p.
- Beranger C., Vissac B., 1994. An holistic approach to livestock farming systems: theoretical and methodological aspects. In: Gibon A., Flamant J.C. (eds.) The study of livestock farming systems in a research and development framework. Wageningen Press.5-17
- Bertin J., 1973. Sémiologie graphique, Paris, Mouton, 2ème édition, 431 p.
- Beyer C., Mac Donald P., 1973. Hormonal control of sexual behavior in the female rabbit. Adv Reprod Physiol., 6, 185-219.
- Blanc F., Martin Graeme B., Bocquier F., 2001. Modelling reproduction in farm animals. A review, Reprod. Fertil. Dev., 13, 337-353.
- Blanc F., Bocquier F., Debus N., Agabriel J., D'hour P., Chillard Y., 2004. La pérennité et la durabilité des élevages de ruminants dépendent des capacités adaptatives des femelles, INRA Prod. Anim., 17 (4), 287-302.
- Boiti C., Canali C., Brecchia G., Zanon F., Facchin E. 1999. Effects of induced endometritis on the life-span of corpora lutea in pseudopregnant rabbits and incidence of spontaneous uterine infections related to fertility of breeding does. Theriogenol., 52, 1123-1132.
- Bolet G., 1998. Problèmes liés à l'accroissement de la productivité chez la lapine reproductrice. INRA Prod. Anim., 11, 235-238.

Bolet G., Fortun-Lamothe L., 2002. Relationship between body condition and reproductive performances in rabbit does. Proc. 3rd meeting of workgroups 3 and 4. COST action 848, Ispra, Italy, 24-25 October, Comm n°23.

Bonanno A., Mazza F., Di Grigoli A., Alicata M.L., 2005. Assessment of a method for evaluating the body condition of lactating rabbit does: preliminary results. Proc. XVI Congresso Nazionale Aspa, Torino, 4, p560.

Bonnet J.N., Papet A., 1981. Quelques mots et leur sens pour mieux comprendre la génétique et la sélection animales. ITEB, PARIS, (82012), 17 p.

Booth P.J., 1990. Metabolic influences on hypothalamic-pituitary-ovarian function in the pig. J. Reprod. Fert., 40, 89-100.

Boucher S., Nouaille L., 1999. A propos de 22 cas de klebsiellose à *Klebsiella pneumoniae* dans des élevages cynicoles rationnels des Pays de Loire. 8^{èmes} Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 9-10/06/1999.

Butler W.R., 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. Anim. Reprod. Sci., 60-61, 449-457.

Butler W.R., 2005. Relationships of negative energy balance with fertility. Advances in Dairy Technology, 17, 35-46.

Butler W. R., Smit. R. D., 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. J. Dairy Sci., 72, 767-783.

-C-

Castellini C., Battaglini M., 1991. Influenza della concentrazione energetica della razione e del ritmo riproduttivo sulle performance delle coniglie. Proc. IX Congresso Nazionale Aspa, Roma, Vol.I, 477-488.

Castellini C., Dal Bosco A., Cardinali R., 2006a. Long term effect of post weaning rhythm on the body fat and performance of rabbit doe. Reprod. Nutr. Dev. 46, 195-204.

Castellini C., Dal Bosco A., Mugnai C., 2003. Comparison of different reproduction protocols for rabbit does: effect of litter size and mating interval. Livest. Prod. Sci. 83, 131-139.

Castellini C., Cardinali R., Rebollar P.G., Dal Bosco A., Jimeno V., Cossu M.E., 2006b. Feeding fresh chicory (*Chicoria intybus*) to young rabbits : Performance, development of gastrointestinal tract and immune functions of appendix and Peyer's patch. Anim. Feed. Sci. Technology. In press.

Cervera C., Fernandez-carmona J., Viudes de castro P., Blas E., 1993. Effect of remating interval and diet on the performance of female rabbits and their litter. Anim. Prod., 56, 399-405.

Chilliard Y., Ferlay A., Faulconnier Y., Bonnet M., Rouel J., Bocquier F., 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants, Proc. Nutr. Soc., 59, 127-134.

Chilliard Y., Bocquier F., Delavaud C., Faulconnier Y., Bonnet M., Guerre-Millo M., Martin P., Ferlay A., 1999. La leptine chez le ruminant. Facteurs

- de variation physiologiques et nutritionnels. INRA – Prod. Anim., 12, 225-237.
- Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (CMED), 1989. Notre avenir à tous. Edition du Fleuve, Montréal, 2^{ème} édition, 432p. Cité par Landais, 1998.
- Coop I.E., 1966. Effect of flushing on reproductive performance of ewes, J. Agric. Sci., Camb., 67, 305–323.
- Coudert P., Lebas F., 1985. Production et morbidité des lapines reproductrices. I. Effets du rationnement alimentaire avant et pendant la première gestation. Ann. Zootech., 34 (1), 31-48.
- Cournut S., 2001. Le fonctionnement des systèmes biologiques pilotés: simulation à événements discrets d'un troupeau ovin conduit en trois agnelages en deux ans. Thèse de l'Université Claude Bernard, Lyon I. 491p.
- D-E-**
- De Blas J.C., Mateos G.G., 1998. Feed formulation, in: De Blas JC and Wiseman J (Eds.), The Nutrition of the rabbit, CABI publishing, CAB Int., Wallingford, Oxon, UK, pp. 241-253.
- De Rochambeau H., 1998. La femelle parentale issue des souches expérimentales de l'INRA : évolutions génétiques et perspectives. 7èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., 14-15/05/1998, Lyon, 3-18.
- De Rochambeau H., 2000. Amélioration génétique du lapin pour la production de viande en France. Situation actuelle et perspectives. Jornadas Internacionais de Cunicultura, 147-159.
- De Rosnay J., 1975. Le macroscopie – Vers une vision globale. Editions du Seuil, Collection points, Séries Essais, 346p
- Debray L., 2002. Nutrition du lapereau en période de sevrage: interaction avec les besoins nutritionnels de la femelle. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. 125p.
- 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.
- Debray L., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2001. Evolution of intestinal enzymatic digestive capacity of rabbit around weaning. 2nd meeting of workgroups 3 and 4. COST Action 848, 29-30 June 2001, Godollo, Hungary, 37-38.
- Debray L., Le Huerou-Luron I., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2003. Digestive tract development in rabbit according to the dietary energetic source: correlation between whole tract digestion, pancreatic and intestinal enzymatic activities. Comp. Biochem. and Physiol. 135, 443-455.
- Dekkers J.C.M., Jairath L.K., Lawrence B.H., 1994. Relationships between sire genetic evaluation for conformation and functional herd life and daughters. J. Dairy Sci., 77, n°3, pp 844-854.
- Deneubourg J.L., 1995. Individuellement, les insectes sont bêtes, collectivement, ils sont intelligents. Le temps stratégique, N°65, Genève.

<http://www.archipress.org/ts/deneubourg.htm>

- Dourmad J.Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 87-97.
- Ducluzeau R., Raibaud P., 1979. *Ecologie microbienne du tube digestif*. INRA et Masson (Eds), Paris, 96p.
- Durand D., 1979. *La systématique*. « Que sais-je ? ». Presses Universitaires de France, Paris, 127p.
- Ducrocq V., Quaass R.L., Pollack E.J., Casella G., 1988. Length of productive life of dairy cows. I. Justification of a Weibull model, *J. Dairy Sci.*, 71, 3061-3070.
- El-Hindawy M.M., Yamani K.A.O., Khashaba B.M., Tawfeek M.I., 1994. Performance of weanling rabbits as affected by energy level and inclusion of probiotics in the diet. *Opt. Médit.*, 8, 157-168.
- European Group on Rabbit Nutrition (EGRAN), 2001. Technical note: Attempts to harmonise chemical analyses of feeds and faeces, for rabbit feed evaluation, *World Rabbit Sci.*, 9, 57-64.
- F-**
- Ferguson F.A., Lukefahr S.D., McNitt J.I., 1997. A technical note on artificial milk feeding of rabbit kits weaned at 14 days. *World Rabbit Sci.*, 5, 65-70.
- Feugier A., 2003. Incidence d'un rationnement quantitatif sur les performances zootechniques, la santé et la digestion du lapin. Mémoire de fin d'études, Institut Supérieur d'Agriculture Rhône-Alpes de Lyon, 51p.
- Feugier A., Fortun-Lamothe L., 2005. Reduction of the reproductive rhythm and lactation length improves body condition and fertility of rabbit does. Proc. meeting of workgroups 1 and 2. COST Action 848, Palermo, Italy, 33.
- Feugier A., Fortun-Lamothe L., 2006. Extensive reproductive rhythm and early weaning improve body condition and fertility of rabbit does. *Anim. Res.*, 55, In press.
- Feugier A., Smit M.N., Fortun-Lamothe L., Gidenne T., 2006. Interaction between weaning age and feeding strategy on digestive health and growth performance of young rabbits. *Anim. Sci.*, 82 (4), 493-500.
- Firk R., Stamer E., Junge W., Krieter J., 2002. Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 75, 219-232.
- Fonseca J.F., Bruschi J.H., Santos I.C.C., Viana J.H.M., Magalhaes, A.C.M., 2005. Induction of estrus in non-lactating dairy goats with different estrous synchrony protocols. *Anim. Reprod. Sci.*, 85, 117-124.
- Fortun-Lamothe L., 1994. Effets de la lactation sur la mortalité et la croissance fœtales chez la lapine primipare. Thèse de l'université de Rennes I. 111p.
- Fortun-Lamothe L., 1998. Effects of pre-mating energy intake on reproductive performance of rabbit does, *Anim. Sci.*, 66, 263-269.
- Fortun-Lamothe L., 2003. Bilan énergétique et gestion des réserves corporelles de la lapine: mécanismes d'action et stratégies pour améliorer la fertilité et la longévité en élevage

- cunicole. 10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 19-20/11/2003.
- Fortun-Lamothe L., 2005. Energy balance and reproductive performance in rabbit does. *Anim. Reprod. Sci.*, 93, 1-15.
- Fortun-Lamothe L., Bolet G., 1995. Les effets de la lactation sur les performances de reproduction chez la lapine. *INRA, Prod. Anim.*, 8, 49-56.
- Fortun-Lamothe L., Bolet G., 1998. Incidence du format et de la prolificité des lapines sur l'évolution de leurs réserves corporelles et leurs performances de reproduction: comparaison de deux types génétiques. 7èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., 14-15/05/1998, Lyon, 27-30.
- Fortun-Lamothe L., Boullier S., 2004. Interactions between gut microflora and digestive mucosal immunity, and strategies to improve digestive health in young rabbits. *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress, Puebla (Mexico) Sept. 2004*, WRSA ed., 1035-1067.
- Fortun-Lamothe L., Gidenne T., 2003. Besoins nutritionnels du lapereau et stratégies d'alimentation autour du sevrage. *INRA Prod. Anim.*, 16 (1), 39-47.
- Fortun-Lamothe L., Prunier A., 1999. Effects of lactation, energetic deficit and remating interval on reproductive performance of primiparous rabbit does. *Anim. Reprod. Sci.*, 55, 289-298.
- Fortun-Lamothe L., Sabater F., 2003. Estimation de la production laitière des lapines à partir de la croissance des lapereaux, 10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, France, 19-20 novembre 2003, 69-72.
- Fortun-Lamothe L., Lamboley-Gaüzère B., Bannelier C., 2002. Prediction of body composition in rabbit females using Total Body Electrical Conductivity (TOBEC). *Livest. Prod. Sci.*, 78, 133-142.
- Fortun-Lamothe L., Gidenne T., Debray L., Chalaye F., 2001. Intake regulation, performances and health status according to feeding strategy around weaning. *Proc. 2nd Meeting of workgroup 3 and 4. COST Action 848. Gödöllő, Hungary*, 40-41.
- Fortun-Lamothe L., Gidenne T., Lapanouse A., De Dapper J., 2000. Technical note : an original system to separately control litter and female feed intake without modification of the mother-young relations. *World Rabbit Sci.*, 8 (4), 177-180.
- Fortun-Lamothe L., Lacanal L., Boisot P., Jehl N., Arveux P., Hurtaud J., Perrin G., 2006. Utilisation autour du sevrage d'un aliment riche en énergie et en fibres : effet bénéfique sur la santé des lapereaux sans altération des performances de reproduction des femelles. *Cuniculture Magazine*, 33, 35-42.
- Frasier W.M., Pfeiffer G.H., 1994. Optimal replacement and management policies for beef cows. *Amer. J. Agr. Econ.*, 76, 847-858.
- Friggens N.C., 2003. Body lipid reserves and the reproductive cycle : towards a better understanding. *Livest. Prod. Sci.*, 83, 219-236.

-G-

- Gallois M., 2006. Statut nutritionnel du lapereau : maturation des structures et des fonctions digestives et

- sensibilité a une infection par une souche entéropathogène d'*Escherichia coli*. Thèse, école doctorale SEVAB, 290p.
- Gallois M., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., Le Huerou-Luron I., Lallès J.P., 2004. Weaning age and development of the small intestinal mucosa in the young rabbit. Proc. 8th World Rabbit Congress , Puebla, Mexico, pp. 846-852.
- Gallois M., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., Le Huerou-Luron I., Lallès J.P., 2005. An early stimulation of solid feed intake slightly influences the morphological maturation in the rabbit. *Reprod. Nutr. Dev.*, 45, 109-122.
- Garreau H., De Rochambeau H., 2003. La sélection des qualités maternelles pour la croissance du lapereau. 10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 19-20/11/2003.
- Garreau H., Larzul C., Ducrocq V., 2001. Analyse de longévité de la souche INRA 1077. 9èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 28-29/11/2001.
- Gibon A., Sibbald A.R., Thomas C., 1999a. Introduction. Improved sustainability in livestock systems, a challenge for animal production science. *Livest. Prod. Sci.*, 61, 107-110.
- Gibon A., Soulas C., Theau J.P., 1987. Eléments pour l'approche et le fonctionnement des systèmes d'élevage. Le cas des pyrénées centrales. *Etudes et recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 11, 35-47.
- Gibon A., Sibbald A.R., Flamant J.C., Lhoste P., Revilla R., Rubino R. Sorensen J.T., 1999b. Livestock farming research in Europe and its potential contribution for managing towards sustainability in livestock farming. *Livest. Prod. Sci.*, 61, 121-137.
- Gidenne T., 1997. Caeco-colic digestion in the growing rabbit: impact of nutritional factors and related disturbances. *Livest. Prod. Sci.*, 51, 73-88.
- 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.
- Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2001. Early weaning: effect on performances and health. Proc. 2nd meeting of workgroups 3 and 4. COST Action 848, Godollo, Hungary, 44.
- Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2002. Feeding strategy for young rabbits around weaning: a review of digestive capacity and nutritional needs. *Anim. Sci.* 75, 169-184.
- Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2004. Growth, health status and digestion of rabbits weaned at 23 or 32 days of age. Proc. 8th World Rabbit Congress, Puebla, Mexico, 846-852.
- Gidenne T., Licois D., 2005. Effect of a high fibre intake on the resistance of the growing rabbit to an experimental inoculation with an enteropathogenic strain of *Escherichia coli*. *Anim Sci*, 80, 281-288.
- Gidenne T., Feugier A., Jehl N., Arveux P., Boisot P., Briens C., Corrent E., Fortune H., Montessuy S., Verdelhan S., 2003. Un rationnement alimentaire quantitatif post-sevrage

- permet de réduire la fréquence des diarrhées, sans dégradation importante des performances de croissance: résultats d'une étude multi-site. In : ITAVI (Ed.) 10èmes Journ. Rech. Cunicole Fr., Paris, 19-20/11/2003, 29-32.
- Girard N., Lasseur J., 1997. Stratégies d'élevage et maîtrise de la répartition temporelle de la production: exemple des élevages ovins allaitants en montagne méditerranéenne. Cah. Agric., 6, 115-124.
- Gras R., Benoît M., Deffontaines J. P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., et Osty P. L., 1989. Le fait technique en agronomie. Activités agricoles, concepts et méthodes d'étude. INRA Editions/L'Harmattan, Paris, 160 p. (Coll. Alternatives Rurales).
- Grimard B., Sauvant D., Chilliard Y., 2002. Les relations nutrition-reproduction dans l'espèce bovine. La journée de printemps de l'Association Française de Zootechnie, 20pp.
- Groenendaal H., Galligan D.T., Mulder H.A., 2004. An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. J. Dairy. Sci., 87 (21), 2146-2157.
- Guarner F., Malagelada J.R., 2003. Gut flora in health and disease. Lancet, 361, 512-519.
- Gutierrez I., Espinosa A., Garcia J., Carabano R., De Blas J.C., 2002. Effects of starch and protein sources, heat processing and exogenous enzymes in starter diets for early-weaned rabbits. Anim. Feed. Sci. Technology, 98 , 175-186.
- Gutiérrez I., Espinosa A., Garcia J., Carabano R., De Blas J.C., 2003. Effect of protein source on digestion and growth performance of early-weaned rabbits. Anim. Res. 52, 461-471.
- H-I-K**
- Hansen J.W., 1996. Is Agricultural Sustainability a useful Concept? Agric. Systems, 50, 117-143.
- Hatchuel A., Weill B., 1992. L'expert et le système. Gestions des savoirs et métamorphose des acteurs dans l'entreprise industrielle. Economica Ed.,163p.
- Hollister A.G., Cheeke P.R., Robinson K.L., Patton N.M., 1989. Effect of water-administered probiotics and acidifiers on growth, feed conversion rate and enteritis mortality of weanling rabbits. J. Appl. Rabbit Res., 12, 143-147.
- I'anson H., Foster D.L., Foxcroft G.R., Booth P.J., 1992. Nutrition and reproduction, Rev. Reprod. Biol., 8, 239-311.
- Ingrand S., Dedieu B., Agabriel J., Perochon L., 2002. Modélisation du fonctionnement d'un troupeau bovin allaitant selon la combinaison des règles de conduite. Premiers résultats de la construction du simulateur Simball. Renc. Rech. Rum., 9, 61-64.
- Irlbeck N.A., 2001. How to feed the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) gastrointestinal tract. J. Anim. Sci., 79 (E.Suppl.), 343-346.
- Kalbfleisch J.D., Pentice R.L., 1980. The statistical analysis of failure time data, John Wiley and sons, New York, USA.

- Kelly D., Coutts A.G.P., 2000. Development of digestive and immunological function in neonates: role of early nutrition. *Livest Prod Sci*, 66, 161-167.
- Khireddine B., Grimard B., Ponter A.A., Ponsart C., Boudjenah H., Mialot J.P., Sauvart D., and Humblot P., 1998. Influence of flushing on LH secretion, follicular growth and the response to estrus synchronisation treatment in suckled beef cows. *Theriogenol.*, 49, 1409-1423.
- L-
- Landais E., 1987. Recherches sur les systèmes d'élevages. Questions et perspectives. Document de travail, INRA SAD Versailles, 70 p. Cité par Cournut, 2001.
- Landais E., 1998. Agriculture durable: les fondements d'un nouveau contrat social? *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 33, 16p.
- Landais E., Bonnemaire J., 1994. Zootechnie et systèmes d'élevage. Sur les relations entre l'enseignement supérieur et la recherche. *Ethnozootecnie*, 54, 109-140. Cité par Meuret, Landais, 1996.
- Lanning D., Zhu X., Zhai S.K., Knight K.L., 2000. Development of the antibody repertoire in rabbit: gut associated lymphoid tissue, microbes, and selection. *Immunol. Rev.*, 175, 214-228.
- Lebas F., 1987. Influence de la taille de la portée et de la production laitière sur la quantité d'aliment ingérée par la lapine allaitante, *Reprod. Nutr. Dev.*, 27, 207-208.
- Lebas F., 2000. La biologie du lapin. <http://www.cuniculture.info/Docs/in dexbiol.htm>
- Lebas F., 2005a. Productivité et rentabilité des élevages cynicoles professionnels en 2004. *Cuniculture Magazine*, 32, 100-101.
- Lebas, F. 2005b. Productivité et rentabilité des élevages cynicoles professionnels en 2003. *Cuniculture Magazine*, 32, 14-17. <http://www.cuniculture.info/Docs/M agazine/Magazine2005/mag32-014.htm>
- Lebas F., Fortun L., 1990. Rationnement et productivité. *Rev. Alim. Anim.*, 439, 27-37.
- Lebas F., Laplace J.P., Droumenq P., 1982. Effets de la teneur en énergie de l'aliment chez le lapin. Variations en fonction de l'âge des animaux et de la séquence des régimes alimentaires. *Ann Zootech*, 31 (3), 233-256.
- Lebas F., Marionnet D., Henaff R., 1991. La production du lapin. 3^{ème} édition, AFC, 205p.
- Lebas F., Coudert P., De Rochambeau H., Thébault R.G., 1996. Le lapin: Elevage et pathologie (nouvelle version revisitée). FAO éditeur, Rome, 227 pp.
- Legay J.M., 1996. L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode. Inra éditions, Paris, 112p.
- Le Moigne J. L., 1977. La théorie du système général. Presses Universitaires de France, Paris, 258 p.
- Licois D., 2004. Domestic rabbit enteropathies. In: 8th world rabbit congress, Mexico, 385-386.
- Licois D., Wyers M., Coudert P., 2005. Epizootic Rabbit Enteropathy :

- experimental transmission and clinical characterization. *Vet. Res.*, 36, 601-613.
- M-N-**
- Mac Narama C., 2002. Nuts and bolts guide to leadership and supervision for non-profit staff: Guide for executive directors and other non-profit leaders. Authenticity Consulting, LLC, 204p.
- Mac Nitt J.I., Moody G.L., 1992. A method for weaning rabbit kits at 14 days. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15, 661-665.
- Maertens L., 1992. Rabbit nutrition and feeding: a review of some recent developments. *J. Appl. Rabbit Res.*, 15, 889-913.
- Maertens L., De Groote G., 1990. Feed intake of rabbits kits before weaning and attempts to increase it. *J. Appl. Rabbit Res.*, 13, 151-158.
- Maertens L., Piattoni F., 2001. Effect of weaning age and solid feed distribution before weaning on performances, caecal traits and caecal fermentation pattern of young rabbits. Proc. 2nd meeting of workgroups 3 and 4. COST action 848, Godollo, Hungary, p45.
- Maertens L., Luzi F., De Groote G., 1997. Effect of dietary protein and amino acids on the performance, carcass composition and N-excretion of growing rabbits. *Ann. Zootech.*, 46, 255-268.
- Martínez-Gómez M., Juárez M., Distel H., Hudson R., 2004. Overlapping litters and reproductive performance in the domestic rabbit, *Physiol. Behav.*, 82, 629-636.
- Mathieu A., Fiorelli J.L., 1990. Modélisation des pratiques de pâturages d'éleveurs laitiers dans le nord-est les régulations face à l'aléa climatique. In BROSSIER, J. (éd.), VISSAC, B. (éd.), Le Moigne, J.L. (éd.). Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation, 135-157.
- Mélèse J., 1968. La gestion par les systèmes. Ed Hommes et Techniques, 235p. Cité par Mathieu et Fiorelli, 1990.
- Mélèse J., 1982. L'analyse modulaire des systèmes de gestion. Hommes et Techniques, Paris, 233p. Cité par Mottet, 2005.
- Mélèse J., 1991. L'analyse modulaire des systèmes AMS: une méthode efficace pour appliquer la théorie des systèmes au management, les éditions d'Organisation, 233p.
- Mendez J., De Blas J.C., Fraga M.J., 1986. The effects of diet and remating interval after parturition on the reproductive performance of the commercial doe rabbits, *J. Anim. Sci.*, 62, 1624-1634.
- Menjon P., d'Orgeval R., 1983. Entre atelier et filière: le système d'élevage. *Agriscopes*, I (1), « L'exploitation agricole, une approche globale », 42-53.
- Meuret M., Landais E., 1996. Quoi de neuf sur les systèmes d'élevage ? In: C. Blanc-Pamard et J. Boutrais (coor), Thème et variations: nouvelles recherches rurales au sud, 325-355. Editions ORSTOM, Paris.
- Monget P., Martin G.B., 1997. Nutrition et reproduction des animaux d'élevage. *Cah. Nut. Diet.*, 32, 166-172.

- Morisse J.P., Maurice R., Le Gall G., and Boilletot E., 1989. Intérêt zootechnique et sanitaire d'un aliment de pré-sevrage chez le lapereau. *Revue de Médecine vétérinaire*, 140, 501-506.
- Mottet A., 2005. Transformations des systèmes d'élevage depuis 1950 et conséquences pour la dynamique des paysages dans les pyrénées. Contribution à l'étude du phénomène d'abandon de terres agricoles en montagne à partir de l'exemple de quatre communes des Hautes-Pyrénées. Thèse, école doctorale SEVAB, 261p.
- Nizza A., Di Meo C., Esposito L., 1997. Influence of the diet used before and after the first mating on reproductive performance of rabbit does. *World Rabbit Sci.*, 5, 107-110.
- Nizza A., Stanco G., Di Meo C., Marongiu M.L., Taranto S., Cutrignelli M.I., Juliano L., 2002. Effect of pre-weaning solid feed and milk intake on caecal content characteristics and performance of rabbits around weaning. *Ital. J. Anim. Sci.*, 2, 95-101.
- Noubel J.F., 2004. Intelligence collective, la révolution invisible. *The Transitionner*, 44p.
- O-P-**
- Oltjen J.W., Selk G.E., Burditt L.G., Plant R.E. 1990. Integrated expert system for culling management of beef cows. *Comp. Electr. Agric.*, 4, 333-341.
- Osty P.L., Landais E., 1991. Fonctionnement des systèmes d'exploitation pastorale. In IV Intern. Rangeland Congress, Montpellier, 22-26/4/1991. 1137-1146.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., 1993. Recherches sur l'interaction entre alimentation, reproduction et lactation chez la lapine. In: Proc. 4th World Rabbit Congress, Budapest, 3, 42-52.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., 1998. Energy metabolism and requirements, in: De Blas JC and Wiseman J (Eds), *The Nutrition of the rabbit*, CABI publishing, CABInt., Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK, pp.103-131.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M., 1989. Influenza dell' intervallo parto-accoppiamento sulle prestazioni riproduttive delle coniglie fattrici. *Coniglicoltura*, 7, 51-57.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M., 1990. Répartition de l'énergie alimentaire chez la lapine non gestante pendant la première lactation. *5èmes Journ. Rech Cunicole Fr.*, Paris, 12-13/12/1990, 2, comm. n° 47.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., Cinetto M., Dalle-Zotte A., 1992. Energy and protein utilization and partition in rabbit does concurrently pregnant and lactating. *Anim. Prod.*, 55, 153-162.
- Parigi-Bini R., Xiccato G., Dalle Zotte A., Carazzolo A., Castellini C., Stradaio G., 1996. Effect of remating interval and diet on the performance and energy balance of rabbit does. Proc. 6th World Rabbit Congress, 9-12 July, Toulouse, France, Vol 1, 253-258.
- Partridge G.G., Daniels Y., Fordyce R.A., 1986. The effects of energy intake during pregnancy in doe rabbits on pup birth weight, milk output and maternal body composition change

- in the ensuing lactation. *J. Agric. Sci.*, 107, 697-708.
- Pascual J.J., 2000. The use of ultrasound measurement of perirenal fat thickness to estimate changes in body condition of young female rabbits. *Anim. Sci.*, 70, 435-442.
- Pascual J.J., 2001. Early weaning of young rabbits: a review, *World Rabbit Science*, 9 (4), 165-170.
- Pascual J.J., Cervera C., Fernandez-Carmona J., 2002. A feeding programme for young rabbit does based on lucerne. *World Rabbit Sci.*, 10, 7-13.
- Pascual J.J., Cervera C., Blas E., Fernandez-Carmona J., 1998. Effect of high fat diets on the performance and food intake of primiparous and multiparous rabbit does. *Anim. Sci.*, 66, 491-499.
- Pascual J.J., Cervera C., Blas E., Fernandez-Carmona J., 2003. High-energy diets for reproductive rabbit does: effect of energy source. *Nutr. Abstracts Rev.*, 73, 27R-39R.
- Pascual J.J., Tolosa C., Cervera C., Blas E., Fernández-Carmona J., 1999. Effect of diets with different digestible energy content on the performance of rabbit does. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 81 (1) : 105-117.
- Pascual J.J., Motta W., Cervera C., Quevedo F., Blas E., Fernández-Carmona J., 2002. Effect of dietary energy source on the performance and perirenal fat thickness evolution of primiparous rabbit does. *Anim. Sci.*, 75, 267-273.
- 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., Fernandez J., Falcão 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.
- Perret J.P., 1980. Lipolyse gastrique des triglycérides du lait maternel, et absorption gastrique des acides gras à chaîne moyenne chez le lapereau. *J. Physiol.*, 76, 159-166.
- Piattoni F., Maertens L., 1999. Effect of weaning age and solid feed distribution before weaning on the caecal fermentation pattern of young rabbits. 11. Arbeitstagung über Haltung und Krankheiten der Kaninchen, Pelztier und Heimtiere, Celle, Ed. Deutsche Vet. Med. Gesellschaft e. V., Giessen, 97-105.
- Piattoni F., Maertens L., Mazzoni D., 1999. Effect of weaning age and solid feed distribution before weaning on performances and caecal traits of young rabbits. *Cah. Opt. Médit.*, 41, 85-91.
- Poussin J.C., 1987. Notions de système et de modèle. *Cah. Sci. Hum.* 23 (3-4), 439-441.
- Prud'hon M., Bel L., 1968. Le sevrage précoce des lapereaux et la reproduction des lapines. *Ann. Zootech.*, 17, 23-30.

-Q-R-

- Quesnel H., 2005. Etat nutritionnel et reproduction chez la truie allaitante. *INRA Prod. Anim.*, 18(4), 277-286.
- Quevedo F., Cervera C., Blas E., Baselga M., Costa C., Pascual J.J. 2005. Effect of selection for litter size and feeding programme on the

- performance of young rabbit females during rearing and first pregnancy. *Anim. Sci.*, 80, 161-168.
- Renquist B.J., Oltjen J.W., Sainz R.D., Calvert C.C., 2006. Relationship between body condition score and production of multiparous beef cows, *Livest. Prod. Sci.* In Press.
- Revilla R., Gibon A., 1992. Recherches sur les systèmes d'élevage et rôle respectif de l'observation et de l'expérimentation: l'exemple des Pyrénées centrales. In: Gibon A., Matheron, G. (Eds), *ibid.*, pp. 59-77.
- Ricard J., 2003. La complexité biologique. *Pour la science*, 314, 30-33.
- Rideaud P., Coudert P., 1992. Pasteurella epidemiology: effect of the age of weanling rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.* 15:1411-1414.
- Rodriguez J.M., Ubilla E., 1988. Effect of sexual receptivity on ovulation response in rabbit does induced with GnRH. *Proc. 4th World Rabbit Congress*, Budapest, Hungary, pp. 504-508.
- Rodriguez-Zas S.L., Southey B.R., Knox R.V., Connor J.F., Lowe J.F., Roskamp B.J., 2003. Bioeconomic evaluation of sow longevity and profitability. *J. Anim. Sci.*, 81, 2915-2922.
- Rodriguez-Zas S.L., Davis C.B., Ellinger P.N., Schnitkey G.D., Romine N.M., Connor J.F., Knox R.V., Southey B.R., 2006. Impact of biological and economic variables on optimal parity for replacement in swine breed-to-wean herds. *J. Anim. Sci.*, 84, 2555-2565.
- Rommers J.M., 2003. Strategies for rearing of rabbit does. Ph.D. Thesis, Animal Sciences Group of Wageningen UR, 169p.
- Rommers J.M., Meijerhof R., Noordhuizen J.P.T.M., Kemp B., 2001. Effect of different feeding levels during rearing and age at first insemination on body development, body composition, and puberty characteristics of rabbit does. *World Rabbit Sci.*, 9, 101-108.
- Rommers J.M., Meijerhof R., Noordhuizen J.P.T.M., Kemp B., 2002. Relationships between body weight at first mating and subsequent body development, feed intake, and reproductive performance of rabbit does. *J. Anim. Sci.*, 80, 2036-2042.
- Rommers J.M., Meijerhof R., Noordhuizen J.P.T.M., Kemp B., 2004. Effect of feeding program during rearing and age at first insemination on performances during subsequent reproduction in young rabbit does. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44, 321-332.
- S-**
- Sanchez J.P., Baselga M., Peiro R., Silvestre M.A., 2004. Analysis of factors influencing longevity of rabbit does. *Livest. Prod. Sci.*, 90, 227-234.
- Salini P., 2003. Reflexions sur la dynamique des systèmes. Séminaire DRAST, 23/10/2003, 7p.
- Sauvant D., 1994. Modelling homeostatic and homeorhetic regulations in lactating animals. *Livest. Prod. Sci.*, 39 (1), 105-113.
- Sauvant D., Perez J.M., and Tran G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA Ed., 301 p.

- Sauvant D., 2004. L'approche systémique en zootechnie. Séance du 11 février 2004. Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France 90 (2), 25-29.
- Scapinello C., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 1999. Digestive intake capacity of the rabbit during the post-weaning period, according to the milk/solid intake pattern before weaning. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39, 423-432.
- Sénéchal O., 2004. Pilotage des systèmes de production vers la performance globale. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis, 118p.
- Simplicio J.B., Fernandez-Carmona J., Cervera C., 1988. The effect of the high ambient temperature on the reproductive response of the commercial doe rabbit. *Proc. 4th World Rabbit Congress*, Budapest, Vol. 3, 36-41.
- Sorensen J.T., Kristensen E.S., 1994. Computer models, research, and livestock farming systems. In: Gibon A., Flamant J.C. (eds.) *The study of livestock farming systems in a research and development framework*. Wageningen Press. 391-398
- Statistical Analysis System (SAS), 1999. *User's Guide*, version 8, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Stein T.E., Duffy S.J., Wickstrom S., 1990. Differences in production values between high- and low- productivity swine breeding herds. *J. Anim. Sci.*, 68, 3972-3979.
- Theau-Clément M., 2001. Etude de quelques facteurs de contrôles de l'interaction entre la lactation et la reproduction chez la lapine conduite en insémination artificielle. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 101 p.
- Theau-Clément M., Fortun-Lamothe L., 2005. Evolution de l'état nutritionnel des lapines allaitantes après la mise bas et relation avec leur fécondité. *11èmes Journ. Rech. Cunicole Fr.*, Paris, 29-30/11/2001.
- Theau-Clément M., Roustan A., 1992. A study on relationships between receptivity and lactation in the doe, and their influence on reproductive performance. *5th World Rabbit Congress*, Corvallis, USA, 55-62.
- Theau-Clément M., Boiti C., Mercier P., Falieres J., 2000. Description of the ovarian status and fertilising ability of primiparous rabbit does at different lactation stage, *Proc. 7th World Rabbit Congress*, Valencia, Spain, Vol A, 259-266.
- Theau-Clement M., Bolet G., Roustan A., Mercier P., 1990. Comparaison de différents modes d'induction de l'ovulation chez les lapines multipares en relation avec leur stade physiologique et la réceptivité au moment de la mise à la reproduction. *Mem. 5emes Jour. Rech. Cunicole*, Paris, Comm, 6.
- Theilgaard P., Sanchez J.P., Pascual J.J., Friggens N.C., Baselga M., 2006. Effect of body fatness and selection for prolificacy on survival of rabbit does using cryopreserved control population. *Livest. Prod. Sci.*, 103, 65-73.
- Trocino A., Xiccato G., Carraro L., Jimenez G., 2005. Effect of diet

supplementation with Toyocerin® (*Bacillus cereus* var. *toyoi*) on performance and health of growing rabbits. *World Rabbit Sci*, 13, 17-28.

-V-W-X

Van Soest P.J., Robertson J.B., and Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.*, 74, 3583-3597.

Veerkamp R.F., Oldenbroek J.K., van der Gaast H.J., van der Werf J.H.J., 2000. Genetic correlation between days until start of luteal activity and milk yield, energy balance and live weights. *J. Dairy Sci.*, 83, 577-583.

Veysset P., Lherm M., Bebin D., 2005. Evolutions, dispersions et déterminants du revenu en élevage bovin allaitant charolais: étude sur 15 ans (1989-2003) à partir d'un échantillon constant de 69 exploitations. *INRA Prod. Anim.*, 18(4), 265-275.

Vieuille C., Cariolet R., Madec F., Meunier-Salaün M.C., Vaudel J.C., Signoret J.P., 1996. Evaluation du bien-être en élevage chez la truie gestante : approche comparative dans quatre système de logement. *Journées de la Rech. Porcine en France*, 28, 307-318.

Vilain L., Bartschi H., Girardin P., Goanec H., Grosman J., Laville J., Mouchet C., Parent P., Robert F., Viaux P., Zahm F., 2003. La méthode IDEA : indicateur de durabilité des exploitations agricoles : guide d'utilisation. *Educagri éditions*, Dijon, 2ème Ed., 151 p.

Watzlawick P., Helmick-Beavin J., Jackson D.D., 1972. *Une logique de la communication*, Paris: Seuil, 280p.

Werth L.A., Azzam S.M., Nielsen M. K., and Kinder J. E., 1991. Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. *J. Anim. Sci.*, 69, 4710-4721.

Wiener N., 1961. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Herman et Cie, The Technology Press, John Wiley and Sons, 1948; deuxième édition augmentée, The MIT Press. Cité par Sénéchal, 2004.

Wierup M., 1998. Preventive methods replace antibiotic growth promoters: ten years experience from Sweden. *APUA Newxletter*, 16 (2), 1-4.

Xiccato G., 1996. Nutrition of lactating does. In: *Proc. 6th World Rabbit Congress*, Toulouse, France, Vol. 1, pp. 29-47.

Xiccato G., Trocino A., Queaque P.I., Sartori A., 2001. Effect of weaning age and parity order on reproductive performance and body balance of rabbit does. *Proc. 2nd meeting of workgroups 3 and 4. COST Action 848*, Godollo, Hungary, 54-55.

Xiccato G., Trocino A., Sartori A., and Queaque P.I., 2000. Early weaning of rabbits: effect of age and diet on weaning and post-weaning performance. In *7th World Rabbit Congress* (ed. A. Blasco), Eds. *WRSA Congress*, Valence, Spain, vol. C, 483-490.

Xiccato G., Trocino A., Sartori A., Queaque P.I., 2004a. Effect of parity order and litter weaning age on the performance and body energy

balance of rabbit does. *Livest. Prod. Sci.*, 85, 239-251.

Xiccato G., Trocino A., Sartori A., Queaque P.I., 2004b. Effect of reproductive rhythm and litter weaning age on the performance and body energy balance of rabbit does. *Proc. 8th World Rabbit Congress*, Puebla, Mexico, pp. 1029-1034.

Xiccato G., Trocino A., Boiti C., and Brecchia G., 2005. Reproductive rhythm and litter weaning age as they affect rabbit doe performance and body energy balance. *Anim. Sci.*, 81, 289-296.

Xiccato G., Bernardini M., Castellini C., Dalle Zotte A., Queaque P.I., Trocino A., 1999. Effect of postweaning feeding on the performance and energy balance of female rabbits at different physiological states. *J. Anim. Sci.*, 77, 416-426.

Annexe 1 : Quelques définitions

La réceptivité sexuelle¹. En saillie naturelle une lapine est dite réceptive lorsqu'elle accepte l'accouplement et se met en position de lordose en présence du mâle. En insémination artificielle, la réceptivité est mesurée par un test de présentation à un mâle (taux d'acceptation) ou par l'observation de la couleur et de la turgescence de la vulve (taux de réceptivité ; Rodriguez, 1988). Lorsqu'une lapine est réceptive, elle est dite en œstrus. Lorsqu'elle est non réceptive, elle est dite en diœstrus. On définit ainsi le taux de réceptivité :

$$\text{Taux de réceptivité (\%)} : \frac{\text{Nombre de lapines ayant une vulve turgescence violette ou rouge à l'insémination} \times 100}{\text{Nombre de lapines inséminées}}$$

Le taux d'ovulation¹. Il est estimé par comptage des corps jaunes sur chaque ovaire pendant la gestation lors d'une laparotomie, d'une endoscopie ou après abattage. On considère que le nombre de corps jaunes est égal au nombre d'ovules pondus.

$$\text{Taux d'ovulation} = \text{Nombre d'ovules pondus}$$

La fertilité¹. Elle correspond à l'aptitude à la reproduction, à la capacité de procréer que possède normalement tout individu en bonne santé et sexuellement mature.

$$\text{Taux de fertilité (\%)} : \frac{\text{Nombre de femelles mettant bas} \times 100}{\text{Nombre de femelles inséminées}}$$

En cuniculture, un critère souvent utilisé est **le taux de gestation**. En effet, la gestation d'une lapine peut être diagnostiquée à partir du 11^{ème} jour après l'insémination par une palpation abdominale. Lorsqu'une lapine est diagnostiquée gestante, la palpation est qualifiée de positive.

$$\text{Taux de gestation (\%)} : \frac{\text{Nombre de femelles palpées positives} \times 100}{\text{Nombre de femelles inséminées}}$$

La mortalité embryonnaire¹. Elle correspond à la mortalité survenant entre la fécondation et l'implantation. La mortalité embryonnaire peut être estimée à partir du 7^{ème} jour de gestation par laparotomie, endoscopie ou après abattage.

$$\text{Taux de mortalité embryonnaire (\%)} : \frac{(\text{Nombre de corps jaunes} - \text{nombre de sites d'implantation}) \times 100}{\text{Nombre de corps jaunes}}$$

La mortalité fœtale¹. Elle correspond à la mortalité survenant entre l'implantation et la naissance. Le fœtus est classé comme vivant lorsque sa vascularisation est visible et comme mort lorsque le fœtus n'a pas de vascularisation visible ou qu'il est résorbé (visible sous forme d'une quantité variable de tissu placentaire et de membranes fœtales)

$$\text{Taux de mortalité fœtale (\%)} : \frac{\text{Nombre de fœtus morts} \times 100}{\text{Nombre de corps jaunes}}$$

¹ d'après Fortun-Lamothe 1994, Theau-Clément 2001, Bonnet et Papet, 1981

La prolificité. Elle est définie par le nombre de jeunes nés par femelle mettant bas. La prolificité correspond à la taille totale (vivants et morts) de la portée à la naissance.

$$\text{Prolificité : } \frac{\text{Nombre de lapereaux nés}}{\text{Nombre de lapines mettant bas}}$$

La productivité. La productivité est classiquement définie comme le rapport entre une production et les ressources mises en œuvre pour l'obtenir. La productivité est un critère à signification économique qui s'apprécie en terme de poids (productivité pondérale) ou de nombre (productivité numérique) de produits élaborés (animaux nés, d'un âge donné, sevrés, ou parfois commercialisés).

La productivité tient ainsi compte de la fertilité des femelles et de la mortalité des lapereaux pendant la lactation. La productivité numérique et pondérale à 23 jours est ainsi définie :

$$\text{Productivité numérique (lap/fem): } \frac{\text{Nombre de lapereaux âgés de 23 jours produits}}{\text{Nombre de lapines inséminées}}$$

$$\text{Productivité pondérale (Kg/fem) : } \frac{\text{Poids des lapereaux âgés de 23 jours produits}}{\text{Nombre de lapines inséminées}}$$

Lorsque l'on compare des productions élaborées à partir de rythmes de reproduction différents, il est nécessaire de rapporter ce critère à un nombre ou un poids total de lapereaux produits du même âge par unité de temps. La productivité peut être ainsi pondérée par la durée du cycle de reproduction :

$$\text{Productivité numérique annuelle (lap/fem/an) : } \frac{\text{Nombre total de lapereaux âgés de 23 jours produits pendant un an}}{\text{Nombre total de lapines inséminées en un an}}$$

$$\text{Productivité pondérale annuelle (Kg/fem/an) : } \frac{\text{Poids total de lapereaux âgés de 23 jours pendant un an}}{\text{Nombre total de lapines inséminées en un an}}$$

Le Gain Moyen Quotidien (GMQ). Il renseigne sur la vitesse de croissance d'un individu.

$$\text{GMQ (g/j) : } \frac{\text{Poids vif à la fin de la période (g) – poids vif au début de la période (g)}}{\text{Nombre de jours de la période}}$$

L'indice de consommation (IC). Il renseigne sur l'efficacité alimentaire de l'animal. Un IC plus faible signifie que l'animal consomme moins d'aliment pour obtenir un poids équivalent.

$$\text{IC : } \frac{\text{Ingestion moyenne sur une période (g ou g/j)}}{\text{Gain de poids sur la même période (g ou g/j)}}$$

L'état sanitaire des lapereaux. La mortalité et la morbidité des lapereaux sont contrôlées selon des critères précis, décrits dans les Tableaux 4 et 5. Un animal morbide est défini comme un animal atteint de troubles, mais qui n'est pas mort à la fin de la période de mesure. Ainsi dans une période totalisant les données de deux sous périodes, un animal morbide n'est compté qu'une seule fois, même s'il présente des signes de morbidité dans les deux sous périodes. Ainsi le nombre d'animaux morbides d'une période totale n'est pas égal au cumul du nombre d'animaux morbides observés dans les deux sous périodes.

$$\text{Taux de mortalité (\%)} : \frac{\text{Nombre de d'animaux morts pendant une période donnée} \times 100}{\text{Nombre d'animaux présents au début de cette période}}$$

$$\text{Taux de morbidité (\%)} : \frac{\text{Nombre de d'animaux morbides pendant une période donnée} \times 100}{\text{Nombre d'animaux présents au début de cette période}}$$

Tableau 4 : Contrôle de la morbidité : grille de notation

Code	Symptôme
OK	Aucun (bon état sanitaire)
DD	Diarrhée débutante, légère
DN	Diarrhée nette ou forte
DS	Diarrhée sèche
M	Présence de mucus
B+	Ballonnement important
E	EEL
P	Parésie cæcale
R	Problèmes respiratoires, coryza, toux
A	Autres : (patte cassée...)

Tableau 5 : Causes de mortalité - grille de notation

Code	Symptôme
D	Diarrhée
P	Parésie totale
R	Problèmes respiratoires, coryza, toux
E	EEL : après diagnostic d'un laboratoire vétérinaire, ballonnement important et diarrhée faible, présence de mucus sous la cage, contenu de l'estomac liquide, absence d'inflammation à l'autopsie
A	Autres : (patte cassée...)
I	Inconnue : en cas de doute

La longévité. La longévité d'une femelle correspond à sa durée de vie. Dans un système d'élevage, la longévité d'un animal correspond à la durée de sa carrière productive (délimitée par une date d'entrée et de sortie du système d'élevage). Dans notre travail (comme

par exemple Dekkers et al., 1994 pour les vaches holsteins) la date d'entrée correspond à la date d'entrée en production : la première mise bas (identique pour toutes les femelles dans notre chapitre 3) et la date de sortie est calée sur la date de disparition de l'animal. L'étude de la longévité nécessite donc de préciser les causes de disparition de l'animal. Selon Cournut (2001) la majorité des auteurs distinguent deux grands ensembles de réformes : les réformes volontaires (décisions humaines de réformes des individus insuffisamment productifs, exemple : l'infertilité, l'état de maigreur prononcée...) et les réformes involontaires (la mortalité). Dans notre travail nous n'avons pas étudié les réformes volontaires. Nous présentons cependant les variables dont la lecture intervient dans ce type de décision (fertilité, aptitude à élever les lapereaux de la femelle par l'intermédiaire du poids de la portée). Notre étude de la longévité se limite donc à la considération des réformes involontaires (mortalité) par l'analyse du taux de survie.

$$\text{Taux de survie (\%)} = \frac{(\text{Nombre de lapines initialement présentes pendant une période donnée} - \text{Nombre de femelles réformées involontairement pendant cette période}) \times 100}{\text{Nombre de lapines initialement présentes pendant cette période}}$$

Ce critère est effectif sur une population non renouvelée d'animaux pendant la période d'étude. Lorsqu'un renouvellement est pratiqué, alors :

$$\text{Taux de survie (\%)} = \frac{(\text{Nombre moyen de femelles présentes pendant une période donnée} - \text{Nombre de femelles réformées involontairement pendant cette période}) \times 100}{\text{Nombre moyen de femelles présentes pendant cette période}}$$

Résumé

Une méthode alternative de reproduction chez la lapine : un modèle pour une approche systémique du fonctionnement des élevages cunicoles. Il existe aujourd'hui dans les élevages cunicoles un renouvellement important du cheptel de lapines reproductrices. Parallèlement, les lapereaux sont fréquemment atteints de troubles digestifs entraînant des pertes conséquentes d'animaux. Ces deux problèmes ne sont pas indépendants, mais sont le plus souvent dissociés dans les études. Une approche systémique, englobant ces deux aspects nous a permis de formaliser une stratégie pour résoudre cette problématique. Nous avons représenté le système d'élevage cunicole par une composante décisionnelle (l'éleveur) et biotechnique (ateliers maternité et engraissement). L'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence d'une extensification du rythme de reproduction (56j vs 42j) et d'une réduction de la durée de la lactation (23j vs 35j) sur les performances de l'atelier maternité. Nous avons déterminé en conséquence les effets de l'âge au sevrage (23j vs 35j) et de l'alimentation (teneur en fibres et en protéines) sur les performances de l'atelier engraissement. Des variables d'état ont été étudiées (performances de reproduction, état corporel, longévité des lapines, croissance et santé des lapereaux) pour évaluer l'action de ces trois leviers de pilotage sur l'évolution du système d'élevage.

Une extensification du rythme de reproduction associée à une réduction de la durée de la lactation améliore l'état corporel des lapines au cours des cycles de reproduction et leur longévité, mais n'affecte pas la prolificité des lapines et n'augmente que la fertilité des femelles primipares. Malgré une meilleure régularité des performances de reproduction, cette conduite ne permet pas de compenser la perte de production annuelle liée à l'extensification. Elle réduit cependant les réformes involontaires et optimise certaines variables dont la lecture intervient dans la décision de réformer les lapines (fertilité, état corporel). Elle est donc susceptible d'abaisser notablement le taux de renouvellement des femelles. La conduite de la reproduction étudiée a des répercussions négatives dans l'atelier d'engraissement. En effet, un sevrage précoce, réalisé à 23j, augmente fortement la sensibilité des lapereaux aux troubles digestifs après le sevrage et la stratégie alimentaire proposée n'atténue pas cet effet.

L'intérêt de l'approche systémique réside dans la mise en évidence de l'interaction entre les deux ateliers biotechniques et l'intégration de nouvelles contraintes à l'échelle du système d'élevage (organisation du travail, vide sanitaire).

Mots clés : Approche systémique, système d'élevage, lapin, reproduction, nutrition, santé

Abstract

Alternative reproduction method for rabbit female : a model for a systemic approach of the functioning of rabbit breeding. At present, the replacement rate of reproductive rabbit does is very high in rabbit breeding. Besides, health troubles in the growing rabbits herd lead to important economic losses. Frequently, these two points are separately considered in research studies, while they are not independents. A systemic approach including these two problems permit us to formalize a strategy to solve our issue. Rabbit breeding system was represented by a decisional component (the breeder) and a biotechnical one including two workshops (does and growing rabbits herds). This work aimed to evaluate the influence of an extensification of reproductive rhythm (56d vs 42 d) and a reduction of lactation length (23d vs 35d) on performances of rabbit does herd. Consequently, we determined the impact of age at weaning (23d vs 35d) and post weaning feed (dietary fibre and protein levels) on performances of growing rabbits herd. Some state variables (reproductive performance, body condition, lifespan of rabbit does, growth and health of young rabbits) were studied to evaluate the action of these pilote levers.

An extensification of reproductive rhythm associated with a reduction of lactation length improves body condition of rabbit does during the reproductive cycles and their lifespan, but does not affect prolificity of rabbit does and increases fertility only in primiparous ones. In spite of a better regularity of reproductive performance, it does not permit to compensate annual production loss related to extensification. However, it reduces the involuntary replacement of does and optimizes some variables whose reading is involved in the decision to replace rabbit does (fertility, body condition). Therefore, it is likely to reduce the replacement rate of rabbit does. This management of rabbit does has negative repercussions on growing rabbits. Indeed, early weaning (at 23d) strongly increases the susceptibility of young rabbits to digestive disorders after weaning and the feeding strategy we tested does not reduce this effect.

The interest of systemic approach was to highlight the interaction between the two workshops of the biotechnic system (does and growing rabbits herds) and to integrate new constraints at the breeding system level (work organization, cleaning time between each batch).

Key words : Systemic approach, breeding system, rabbit, reproduction, nutrition, health